



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

MATIAS PURANEN  
SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOLAITTEIDEN LUOTETTAVUUDEN PA-  
RANTAMINEN ENNAKOIVAN KUNNOSSAPIDON KEINAIN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Matti Vilkkö  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-  
neuvoston kokouksessa 30.8.2017

## TIIVISTELMÄ

**MATIAS PURANEN:** Sähkö- ja automaatiolaitteiden luotettavuuden parantaminen ennakoivan kunnossapidon keinoin  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 66 sivua  
Marraskuu 2017  
Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Prosessien hallinta  
Tarkastaja: professori Matti Vilkkö

Avainsanat: kunnossapito, RCM, luotettavuus, ennakkohuolto, kriittisyysluokittelu

Koska selluteollisuuden nykytilanteessa kaikki tuotettu sellu menee kaupaksi, on tehtaiden käytettävyydelle asetettu korkeat tavoitteet. Näihin tavoitteisiin pääsy edellyttää laitteiden luotettavaa toimintaa.

Tämän diplomityön tarkoituksena on parantaa UPM:n Kaukaan sellutehtaan käytettävyyttä kehittämällä sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuollon suunnittelua. Lähtötilanteessa ennakkohuolto on yksittäisten ihmisten henkilökohtaisiin mielipiteisiin perustuvaa. Tämä tarkoittaa sitä, että suoritettujen huoltotoimenpiteiden vaihtelevat suuresti tehtaan sisällä. Käytettävyyssvaatimuksiin päästäkseen tehtaalla nähtiin tarve kehittää systemaattinen tapa suunnitella sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuolto-ohjelma. Ennakkohuollon suunnittelussa päädyttiin käyttämään RCM – reliability-centered maintenance -nimistä metodologiaa, jossa huoltotoimenpiteet pyritään kohdistamaan tuotannon kannalta kaikkein tärkeimmille laitteille. Vähemmän tärkeiden laitteiden huoltoa pyritään vähentämään kustannussäästöjen saavuttamiseksi. Huollettavien kohteiden priorisoimiseksi suoritettiin kohdeosaston 5000 automaatiopiirille kriittisyysluokittelu.

Työssä luodut huoltosuunnitelmat perustuvat laitteiden tunnistettuihin vikaantumistapoihin. Jotkin huoltotoimenpiteet luotiin kuitenkin täyttämään viranomaisen vaatimukset laitteiden ennakkohuoltoa kohtaan. Mitattavia tuloksia tämän projektin osalta on vaikea saada, sillä laitteiden vikaantumisvälit ovat pitkiä ja ei voida sanoa suoraan, kuinka paljon vikaantumisväliä on saatu ennakkohuollon avulla pidennettyä ja tehtaan käytettävyyttä parannettua. Huolto-ohjelmasta tuli kuitenkin varsin kattava ja ennakkohuoltotöiden läpikäymisen jälkeen ennakkohuollon toteutuksesta on tullut helpompaa.

Huoltotoimenpiteitä suunniteltaessa huomattiin myös, että kaikille vikaantumisille ei ole mahdollista määrittää ennakkohuoltotoimenpidettä. Näissä tapauksissa vikaantumisesta johtuvaa epäkäytettävyyssäikää pyrittiin minimoimaan kartoittamalla kriittisimpien kohteiden varaosat ja niiden varastotilanne.

## ABSTRACT

**MATIAS PURANEN:** Improving reliability of electrical and automation equipment with preventive maintenance

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 66 pages

November 2017

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

Major: Process Automation

Examiner: Professor Matti Vilkkö

Keywords: maintenance, reliability, RCM, preventive maintenance, automation

At the time pulp industry is at an all-time high if we look at sales and pulp prices. This leads to the fact that availability demands of pulp mills have been set higher than ever. To answer these demands the reliability of mills equipment has to be made sure of. At the start of this thesis project situation in Kaukas pulp mills automation maintenance was that the preventive maintenance tasks were not planned systematically. So the aim of this thesis is to improve the availability of electric and instrumentation equipment in UPM Kaukas pulp mills recovery island. This is done by developing the planning of preventive maintenance.

A method called RCM – reliability-centered maintenance is implemented in order to reach this goal. In RCM maintenance actions are being focused on the most critical equipment in production facility. On the other hand actions on the less critical equipment are cut in order to achieve smaller maintenance costs. Criticality analysis was used to prioritize recovery islands 5000 control loops. Maintenance plans that were created during this project are based on identified failure mechanisms. However some plans were created to meet the preventive maintenance requirements of set by authorities.

The results of this project are hard to measure because mean times between failures are long and during this project it cannot be said how much these maintenance actions make them longer. The availability of the mill is expected to rise because of the preventive maintenance. That is result of the comprehensive plans that were made during this project.

During this project it was noticed that not every failure could be prevented. In order to minimize the down time of the mill spare parts of the most critical equipment were also investigated.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty UPM-Kymmenen Kaukaan sellutehtaalla ja haluaisin kiittää kaikkia, jotka ovat antaneet panoksensa tälle diplomityölle. Erityiskiitokset haluan esittää ohjaajalleni Tero Junkkarille, jolta sain aiheen diplomityölle. Jarno Vanhataloa ja Olli Kannista haluan kiittää neuvoista työn aikana. Haluan kiittää myös työni tarkastajaa professori Matti Vilkkoa ohjauksesta diplomityöprosessissa. Perhettäni haluan kiittää tuesta, jota olen saanut opintojeni aikana ja tätä diplomityötä tehdessäni.

Matias Puranen

Kuusankoskella 7.11.2017

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn taustaa .....	1
1.2	Työn tavoite.....	1
1.3	Toteutus.....	2
2.	KUNNOSSAPITO .....	3
2.1	Sähkö- ja automaatiokunnossapito.....	3
2.2	Kunnossapidon tavoitteet .....	4
2.3	Kunnossapidon mittarit ja tunnusluvut .....	4
2.4	Luotettavuus .....	6
2.5	Kunnossapidon lajit.....	6
2.6	Vikaantuminen .....	10
2.7	Kunnossapitostrategiat .....	11
2.8	TPM.....	11
2.9	RCM .....	12
2.10	Asset Management .....	12
3.	RCM – LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOSSAPITO .....	13
3.1	RCM-analyysin tavoitteet .....	13
3.2	RCM:llä saavutettavat hyödyt.....	14
3.3	RCM prosessi .....	14
4.	ANALYYSIN KOHDE .....	25
4.1	UPM-Kymmene Oyj .....	25
4.2	Kaukaan tehtaas .....	25
4.3	Talteenottolinja.....	26
5.	ANALYYSIN TOTEUTUS.....	31
5.1	RCM-työkalu.....	31
5.2	RCM-analyysin vaiheet.....	32
5.3	Analyysin kohdealueen määrittäminen .....	33
5.4	RCM-projektiryhmän kokoaminen .....	34
5.5	Historiatietojen keruu .....	34
5.6	Automaatiopiirien kriittisyysluokittelu .....	35
5.7	Laitekuvausten harmonisointi .....	38
5.8	Vika- ja vaikutusanalyysin suoritus .....	39
5.9	Vikaantumisen riskien kartoitus.....	41
5.10	Lopullisten ennakkohuoltotoimenpiteiden päättäminen .....	42
6.	VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET .....	45
6.1	Säteilyturvallisuus .....	45
6.2	Turva-automaatio .....	47
6.3	Kaasuilmatisimet.....	49
6.4	Päästömittaukset.....	50
7.	HUOLTOSUUNNITELMIEN LAATIMINEN .....	51

7.1	SAP – toiminnanohjausjärjestelmä .....	51
7.2	Huoltosuunnitelmien luonti .....	53
7.3	Huoltosuunnitelmien ajoitus .....	54
7.4	Huoltosuunnitelmien muutokset .....	56
8.	VARAOSIEN HALLINTA .....	57
8.1	Lähtötilanteen kartoitus .....	57
8.2	Varaosarakenteiden harmonisointi .....	58
8.3	Varaosien nimikointi .....	58
8.4	Varaosakäsittely .....	59
9.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	62
9.1	Seuraavat askeleet .....	62
10.	YHTEENVETO .....	64
	LÄHTEET .....	65

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

OEE -	overall equipment efficiency eli tuotannon kokonaistehokkuus
MTBF -	mean time between failure, keskimääräinen vikaantumisväli
MTTR-	mean time to repair, keskimääräinen korjausaika
FMEA -	failure mode and effect analysis eli vika- ja vaikutusanalyysi
VVA -	Vika- ja vaikutusanalyysi
TPM -	Total productive maintenance eli kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito
RCM -	reliability-centered maintenance eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito
STUK -	Säteilyturvakeskus
ERP -	Enterprise resource planning

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn taustaa

Metsäteollisuudessa on tapahtunut suuria muutoksia viimeisen kymmenen vuoden aikana. Monia tehtaita on ajettu alas kannattamattomina ja sen myötä kustannuksia on ryhdytty seuraamaan entistä tarkemmin kilpailukyvyn säilyttämiseksi. Kilpailukyvyn säilyminen edellyttää korkeaa tuotannon kokonaistehokkuutta, jonka edellytyksenä on laitteiden luotettava toiminta. Tällä hetkellä selluteollisuudessa on tilanne, jossa kaikki tuotetut sellutonnit menevät kaupaksi ja sen myötä tuotantolaitoksen käytettävyys ja laitteiden luotettavuus korostuvat entisestään.

Luotettavuuden saavuttamiseksi kunnossapitotoiminnan täytyy olla hyvin organisoitua ja läpinäkyvää. Kunnossapidon ollessa hyvin suunniteltua, pienenevät myös tuotantolaitoksen kunnossapitokustannukset, jotka ovat yksi suurimmista kontrolloimattomista kustannuseristä (Järviö et al. 2007).

Tarve tälle diplomityölle syntyi Kaukaan sellutehtaalla siitä huomiosta, että sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuoltotöiden suunnittelu ja toteutus perustuivat yksittäisten henkilöiden omiin mielipiteisiin ja kokemuksiin. Ilman selkeää käsitystä siitä, mitä ennakkohuoltoa laitteille tulisi tehdä ja millä sykleillä, ei voida todeta, että kunnossapidon ja ennakkohuollon suunnitelmallisuus olisi riittävää nykyisiin luotettavuusvaatimuksiin nähden.

## 1.2 Työn tavoite

Tämän diplomityön tavoitteena on mahdollistaa sähkö- ja automaatiolaitteiden riittävän luotettava toiminta luomalla uusi toimintatapa niiden ennakkohuollon suunnittelulle. Koska laitteiden korkea luotettavuus on asia, jota ennakkohuollolla tavoitellaan, päädyttiin työssä hyödyntämään NASA:n 1960-luvulla kehittämää metodia nimeltä RCM eli reliability-centered maintenance. Suunnittelumetodina RCM eli luotettavuuskeskeinen kunnossapito pyrkii karsimaan turhia huoltotoimenpiteitä ja lisäämään niitä sellaisille laitteille, jotka ovat kaikkein tärkeimpiä. Kunnossapitotoimenpiteitä pyritään siis kohdistamaan sinne, missä niitä eniten tarvitaan. Lähtökohdaksi ennakkohuoltotöiden luomisessa on se, että kaikki huoltotoimenpiteet perustuvat laitteiden tunnistettuihin vikaantumistapoihin.



Mikäli tärkeälle laitteelle ei ole soveltuvaa ennakkohuoltotoimenpidettä, on varmistettava että epäkäytettävyyensaika olisi mahdollisimman lyhyt. Suurin vaikutus epäkäytettävyyensaikaan on tärkeiden laitteiden varaosatietojen oikeellisuudella ja oikeanlaisella varaosien varastoinnilla. Toinen tämän työn tavoitteista on näiden kohteiden varaosatilanteen kartoitus, jotta vikaantumisiin voitaisiin varautua mahdollisimman hyvin.

### **1.3 Toteutus**

Tämän diplomityön tuloksia päätettiin hyödyntää UPM:n Kaukaan sellutehtaan sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuollon suunnittelussa, jotta nähtäisiin, onko projekti järkevä toteuttaa laajamittaisemmin. Tämän takia toimintaohjeistus pyrittiin luomaan niin, että se olisi mahdollisimman helppo laajentaa muille tehtaan osastoille tai jopa muille tehtaille.

Projektiryhmään kuului henkilöitä talteenottolinjan käyttö- ja kunnossapito-organisaatioiden jokaisesta henkilöstöryhmästä. Näiden henkilöiden kokemuksen ja tietämyksen avulla noin 5000 sähkö- ja automaatiopiirin laitteet priorisoitiin käyttäen hyväksi muokattua versiota PSK6800-standardissa esitellystä kriittisyysluokittelustamallista. Kohteiden priorisoinnin ja vikaantumistapojen analysoinnin perusteella voitiin määrittää jokaiselle laitteelle sopiva huoltostrategia. Jotkut huoltotöistä ovat kuitenkin viranomaisen määräämiä ja tällaisten laitteiden huoltotyöt määritettiin viranomaisen vaatimalla tavalla suoritettaviksi.

Kriittisyysluokittelun perusteella voitiin määrittää myös tärkeimmät laitteet, joiden varosaluetteloiden oikeellisuus kartoitettiin. Varaosakartoituksen yhteydessä myös varaosien varastosaldot tarkistettiin.

## 2. KUNNOSSAPITO

Kunnossapidolla määritelmiä on lähes yhtä monta kuin määrittelijöitä. SFS-EN 13306 (2011) standardi määrittelee kunnossapidon niin, että se pitää sisällään ”kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikejohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pystyy suoriuttamaan halutun toiminnon”. Kunnossapito ei ole siis pelkästään laitteiden korjaamista tai huoltoa.

Kunnossapidon merkitys yrityksen taloudelle on myös huomattava. Kuten aiemmin mainittiin, kunnossapitokustannukset ovat yrityksen suurimmat kontrolloimattomat kustannukset (Järviö et al. 2007). Niiden vaikutukset yrityksen tulokseen on kuitenkin vaikea hahmottaa, sillä vaikutukset ovat epäsuoria. Vaikutusmekanismin tunteminen on kuitenkin tärkeää, jotta kunnossapidon vaikutukset tuottoon voidaan selvittää (Mikkonen et al. 2009).

### 2.1 Sähkö- ja automaatiokunnossapito

Sähkö- ja automaatiokunnossapito kattaa kaikkien sähköisten laitteiden kunnossapidon tehtaalla aina instrumentoinnista automaatiojärjestelmään. Näiden laitteiden kunnossapito on erityisen tärkeää prosessin ajamisen kannalta, sillä automaatio antaa kaikki tarvittavat prosessiarvot, joita operaattorit tarvitsevat prosessin hallintaan. Prosessin hyvä hallinta on puolestaan edellytys hyvälaatuisten tuotteiden valmistamiseen mahdollisimman turvallisesti. (Goettsche 2005. s.6-8)

Sähkö- ja automaatiokunnossapito on kokenut vuosien varrella suuria muutoksia. Ennen kunnossapitohenkilökunta ja operaattorit olivat lähellä prosessia, josta pystyttiin havaitsemaan prosessisuureiden muutoksia aistien kuten näön ja kuulon avulla. Automaation ja järjestelmien kehittyessä tehtaan henkilöstö on ajautunut aina vain kauemmaksi itse prosessista (Goettsche 2005. s. 171–172). Tämä johtaa siihen, että operaattorit ovat enenevissä määrin mittalaitteiden varassa prosessia ohjatessaan ja tämä korostaa niiden tärkeyttä entisestään.

## 2.2 Kunnossapidon tavoitteet

Jotta kunnossapitotoiminnan tehokkuutta ja tuottavuutta olisi mahdollista tarkastella, on kunnossapidolle määritettävä selkeät tavoitteet ja mittarit, joilla seurata tavoitteiden täytymistä. Seuraavaksi esitellään joitakin mittareita ja tunnuslukuja, joilla kunnossapidon toiminnan tehokkuutta voidaan seurata.

## 2.3 Kunnossapidon mittarit ja tunnusluvut

Kunnossapidon tavoitteina ovat hyvä OEE (overall equipment efficiency) eli tuotannon kokonaistehokkuus ja hyvä käyttövarmuus. Tuotannonkokonaistehokkuus eli KNL muodostuu kolmesta tekijästä, jotka ovat käytettävyys (K), toiminta-aste (N) ja laatukerroin (L). KNL voidaan laskea kaavan 1 mukaisesti.

$$KNL = \text{Käytettävyys} \cdot \text{Toiminta-aste} \cdot \text{Laatukerroin} \quad (1)$$

### Käytettävyys, *K*

Käytettävyydellä tarkoitetaan kohteen kykyä olla tilassa, jossa se on kykenevä suorittamaan siltä vaaditun toiminnon määritellyissä toimintaolosuhteissa olettaen, että ulkoiset tarvittavat resurssit ovat saatavilla. Mikäli kohdetta tarkastellaan luotettavuuden kannalta, määritellään sen käytettävyys todennäköisyydeksi toteuttaa siltä vaadittu toiminto.

Keskimääräinen käytettävyys voidaan laskea kaavan 2 avulla.

$$K = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2)$$

jossa

*MTBF* on keskimääräinen vikaantumisväli

*MTTR* on keskimääräinen korjausaika

Keskimääräisellä vikaantumisvälillä tarkoitetaan aikaa, joka keskimäärin kuluu siihen, että laite tai systeemi vikaantuu eli sen toiminta-aikaa vikaantumisten välillä. Keskimääräinen korjausaika puolestaan kertoo suoraan, kuinka kauan laite seisoo vikaannuttuaan, ennen kuin se on taas toimintakunnossa. (PSK 6201 2011, s.4-5, Rausand 2004, s.7)

### Toiminta-aste, *N*

KNL:n toinen komponentti toiminta-aste *N* kuvaa tuotantomäärän suhdetta maksimituotantomäärään käyntiaikana. Toiminta-aste voidaan laskea seuraavasti:

$$N = \frac{\text{Tuotanto}}{\text{Maksimituotanto} \cdot \text{käyntiaika}} \quad (3)$$

### Laatukerroin, $L$

Laatukertoimella kuvataan myyntikelpoisen tuotannon osuuden ja kokonaistuotannon suhdetta. Laatukerroin voidaan laskea kaavalla:

$$L = \frac{\text{Tuotanto} - \text{Hylätty tuotanto}}{\text{Tuotanto}} \quad (4)$$

Tuotannon kokonaistehokkuus voidaan laskea käytettävyyden, toiminta-asteen ja laatukertoimen tulona. (PSK 6201, 2011, s.4-5)

Käytettävyyttä voidaan myös kuvata käyttövarmuudella, jonka PSK-standardi 6201 (2011) määrittelee seuraavalla tavalla:

*”Käyttövarmuus on kohteen kyky olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa ja tietyllä ajanhetkellä tai tietyn ajanjakson aikana olettaen, että vaadittavat ulkoiset resurssit ovat kunnossa.”*

Käyttövarmuus koostuu kolmesta komponentista, jotka ovat toimintavarmuus, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuus. Toimintavarmuudella tarkoitetaan todennäköisyyttä, jolla kohteella on kyky suorittaa vaadittu toiminta ennalta määritetyissä olosuhteissa vaaditun ajan. Tunnuslukuja, joilla toimintavarmuutta seurataan, ovat vikaantumisväli, MTBF ja toimintatodennäköisyys. MTBF eli ”mean time between failure” kuvastaa keskimääräistä aikaa kahden vikaantumisen välillä. (Järviö et al. 2007, s. 36)

Kunnossapitovarmuus on tunnusluku, jolla kuvataan puolestaan organisaation kykyä suorittaa vaadittu tehtävä tehokkaasti määritetyissä olosuhteissa vaaditussa ajassa. Kunnossapitovarmuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Jotta kunnossapitovarmuus saataisiin hyvälle tasolle, on organisaatiossa oltava ammattitaitoisia kunnossapitäjiä, varaosien varastoinnin, dokumentoinnin ja ohjeistuksien on oltava kunnossa. Kunnossapitovarmuutta voidaan mitata logistisen viiveen avulla. (Järviö et al. 2007, s. 36)

Toimintavarmuuden kolmas tekijä kunnossapidettävyyden koostuu Heinonkosken mukaan myös kolmesta eri tekijästä; huollettavuudesta, korjattavuudesta ja vian havaittavuudesta. Huollettavuudella voidaan kuvata laitteen ominaisuuksia, kuten esimerkiksi luokse päästävyyttä tai reititettävyyttä, jotka voivat vaikuttaa laitteen huoltoon negatiivisesti. Korjattavuus puolestaan kertoo esimerkiksi kohteen varaosien tai dokumenttien saatavuudesta tai muista kohteen korjaamiseen vaikuttavista tekijöistä. Vian havaittavuus puolestaan kertoo siitä, miten helposti laitteen vikaantuminen on havaittavissa esimerkiksi kunnonvalvonnan ja anturoinnin avulla. Kunnossapidettävyyden on siis kohteen ominaisuus olla pidettävissä kunnossa ja palautettavissa kuntoon, kun määritetään olosuhteet, jossa laite on ja resurssit, jotka ovat käytössä. (Heinonkoski R., 2004, s. 37, Järviö et al., 2007, s.37–38)

## 2.4 Luotettavuus

Luotettavuus määritellään ”*systeemin tai laitteen kyvyksi toteuttaa siltä vaadittu toiminto ennalta määrätyissä olosuhteissa, toimintaympäristössä ja ennalta määrätyn ajan.*” (ISO 8402) Kuten tästä huomataan, luotettavuudella on selvä yhteys aiemmin esiteltyyn käyttövarmuuteen eli kohteen luotettavuus vaikuttaa käytettävyyden kautta tuotannon kokonaistehokkuuteen.

Sähköisille järjestelmille luotettavuudelle on tarkempi määritelmä, joka jakautuu kahteen osaan; turvallisuuteen ja soveltuvuuteen. Soveltuvuudella tarkoitetaan, että sähkönjakelujärjestelmä pystyy vastaamaan kaikkien käyttäjien tarpeisiin kaikkina aikoina ottaen huomioon suunnitellut katkokset. Sähköjakelujärjestelmän on myös kyettävä kestäämään äkilliset häiriöt sähköverkossa, kuten oikosulut ja laitteiden vikaantumiset. (Rausand 2004, s.5-6)

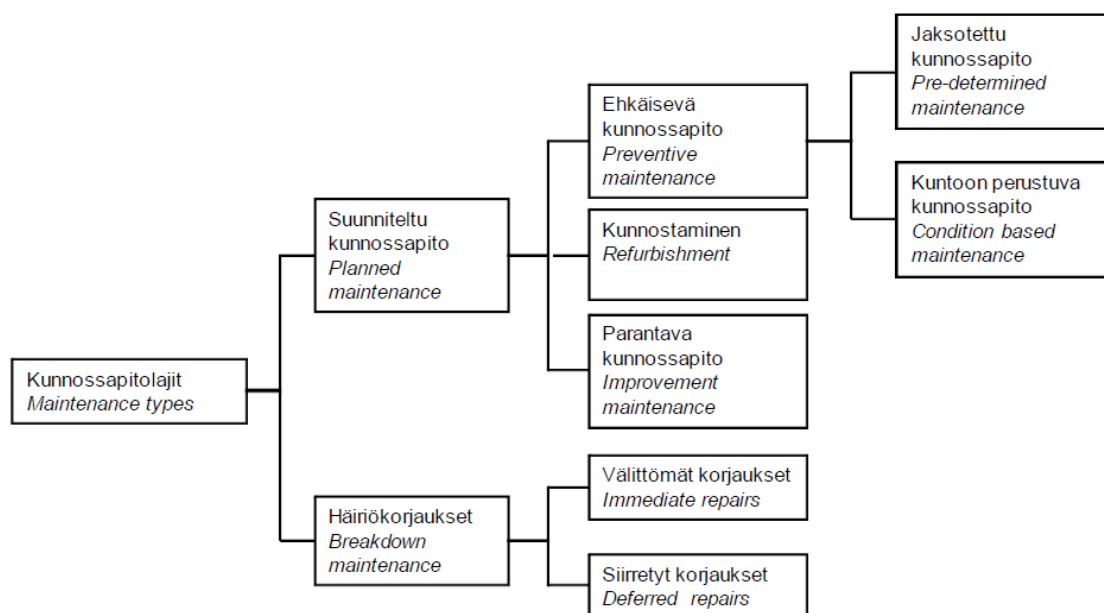
Kokonaisen systeemin luotettavuus koostuu sen komponenttien luotettavuuksista. Eli systeemin luotettavuus ei voi olla korkeampi kuin sen vähiten luotettavan komponentin luotettavuus. Tästä seuraa, että laajojen sistemien luotettavuus voi olla melko pieni, vaikka sen yksittäisten komponenttien luotettavuudet olisivat korkeita. (Rausand 2004, s. 2)

Luotettavuutta voidaan parantaa varmistamalla oikeiksi laitteiston sisäiset ja ulkoiset olot ja lisäämällä tekniikkaa. Tekniikan lisäämisellä voidaan tarkoittaa esimerkiksi kahdentamista eli esimerkiksi järjestämällä laitteiston redundanttisuus. (Heinonkoski 2013)

Luotettavuuden tutkimisen tarkoituksena on saada tietoa päätöksen tekoa varten. Luotettavuuden tutkimisella on myös useita eri sovelluskohteita, joista muutamia ovat esimerkiksi riskien analysointi, tuotteen laadun parantaminen ja kunnossapitotoimenpiteiden optimointi. Tässä työssä keskitytään juuri viimeksi mainittuun sovelluskohteeseen. (Rausand et al., 2004, s.10)

## 2.5 Kunnossapidon lajit

Kunnossapito voidaan jaotella karkeasti kahteen luokkaan; suunniteltuun ja suunnittelemattomaan kunnossapitoon. Suunniteltuun kunnossapitoon kuuluvat ehkäisevä kunnossapito, jonka tavoitteen on estää laitteiden vikaantumiset, ennakoiva kunnossapito, jossa mittausten avulla pyritään huomaamaan laitteen alkava vikaantuminen ennen kuin sen toimintataso laskee tavoitetason alle. Myös instrumenttien kalibrointi voidaan laskea suunniteltuun kunnossapitoon. (PSK6201 2011, s.23–24; Goettsche 2005, s.299–301)



**Kuva 1.** Kunnossapidon lajit (PSK 6201 s.22)

Suunnittelematon kunnossapitotoimenpide puolestaan on häiriökorjausta, joka täytyy suorittaa heti kun vikaantumisella voi olla vaikutusta laitoksen tuottavuuteen (Järviö et al. 2007, s.47–52).

## Korjaava kunnossapito

Laitteen tai systeemin suorituskyvyn laskiessa sen valmistajan antamien tai käyttäjän määrittämien arvojen alapuolelle, tarvitaan kunnossapitoa. Juuri tätä kunnossapidon lajia kutsutaan korjaavaksi kunnossapidoksi. Korjaava kunnossapito pitää sisällään häiriökorjauksen, jota tehdään laitteen rikkoonnuttua yllättäen ja siirretyt korjauksen. Laitteen rikkouduttua yhtäkkiä, korjaavan kunnossapidon tavoite on korjata tai vaihtaa vikaantunut komponentti mahdollisimman nopeasti tai ottaa käyttöön kahdennettu laite. (PSK 6201, s.23–24; Rausand et al. 2009, s. 364)

Siirretyllä korjauksella tarkoitetaan sitä, että vikaa ei korjata heti kun se huomataan, vaan korjaus tehdään tuotannon tai organisaation salliessa sen, kuten esimerkiksi osasto-  
seisokissa (PSK 6201, s.23–24).

## Ehkäisevä kunnossapito

Standardissa SFS-EN 13306 ehkäisevä kunnossapito määritellään niin, että ehkäisevää kunnossapitoa tehdään säännöllisin väliajoin tai asetettujen kriteerien toteutuessa. Toi-

menpiteiden suorittaminen ei riipu kohteen toimintakunnosta tai tehokkuudesta. Ehkäisevän kunnossapidon tavoitteena on vähentää laitteen rikkoontumisen todennäköisyyttä tai sen toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevä kunnossapito voidaan jakaa kolmeen kategoriaan, jotka ovat:

- Laitteen ikään perustuva kunnossapito
- Aikaan perustuva kunnossapito
- Kuntoon perustuva kunnossapito

(Järviö 2000 s. 47–52; Rausand et al. 2009, s. 363)

Laitteen ikään perustuvalla kunnossapidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, jotka suoritetaan, kun kohdelaite on saavuttanut ennalta määrätyn käyttöiän. Käyttöikä voidaan määrittää monilla eri tavoilla kuten käyttötunteina, ajettuna matkana tai toistoina. Aikaan perustuvat kunnossapitotoimenpiteet suoritetaan puolestaan ennalta määrätyn ajan välein. Aikaan perustuvan kunnossapidon hallinta on usein helpompaa kuin laitteen ikään perustuvan kunnossapidon. Kuntoon perustuvaa kunnossapitoa kutsutaan usein ennakoivaksi kunnossapidoksi. (Rausand et al. 2009, s. 363–364)

Ehkäisevää kunnossapitoa kannattaa tehdä, kun kohteelle on mahdollista määrittää tehokas ennakkohuoltomenetelmä ja kun ehkäisevän kunnossapidon kustannukset ovat pienemmät kuin sen puuttumisen aiheuttamat vahingot ja tuotannonmenetykset (Järviö et al. 2007 s. 47–52).

### **Ennakoiva kunnossapito**

Ennakoiva kunnossapito perustuu kohteen kunnon ja suorituskyvyn seuraamiseen. Tavoitteena on pienentää vikaantumisen todennäköisyyttä ja kohteen toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevä kunnossapito on säännöllistä ja aikataulutettua tai vaadittaessa tehtävää. Ehkäisevän kunnossapidon keinoja ovat muun muassa:

- tarkastaminen
- testaaminen
- kunnonvalvonta
- vikaantumistietojen analysointi

Vikaantumistietojen analysointia ja kunnonvalvontaa on mahdollista suorittaa ajon aikana ja niistä saatujen tietojen perusteella on mahdollista etsiä kohteista alkavia vikoja ja todeta kohteiden toimintakunto. (Järviö 2000, s.47–52)

Ennakoivien toimenpiteiden suorittamisen järkevyyttä kannattaa kuitenkin arvioida. Ennakoiva kunnossapitotoimenpide on järkevä tehdä, mikäli sen suorittamiseen tarvittavat kustannukset ovat pienemmät kuin sen puutteesta aiheutuvan vikaantumisen seuraukset. (Järviö 2000, s. 52)

## **Parantava kunnossapito**

PSK 6201-standardin (2011) mukaan parantavan kunnossapidon tarkoituksena on parantaa kohteen kunnossapidettävyyttä ja/tai sen luotettavuutta ilman, että kohteen toimintoa muutetaan. Parantava kunnossapito koostuu kolmesta pääryhmästä. Ensimmäisessä kohteen suorituskkyä ei suoranaisesti nosteta, mutta sen rakennetta muutetaan käyttämällä uudempia osia tai komponentteja kuin alun perin (Järviö et al. 2000, s. 47–52).

Toinen pääryhmään kuuluvat laitteen uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joiden tavoitteena on parantaa laitteen luotettavuutta, eikä niinkään suorituskkyä (Järviö et al. 2000, s. 47–52).

Viimeiseen pääryhmään kuuluvat modernisaatiot, joiden tarkoituksena on parantaa laitteen tai osaprosessin suorituskkyä. Modernisoinnin yhteydessä koneen ohella myös valmistusprosessi uudistetaan (Järviö et al. 2000, s. 47–52).

## **RTF – Run-to-failure**

Yhdeksi kunnossapidon lajiksi voidaan myös lukea RTF eli run-to-failure. Nimensä mukaisesti RTF tarkoittaa, että laitetta käytetään, kunnes se vikaantuu ja sille ei suoriteta minkäänlaista ehkäisevää tai ennakoivaa kunnossapitoa. RTF:n käyttäminen joidenkin laitteiden osalta on perustelua, mikäli laitteelle ei löydy soveltuvaa ennakoivaa kunnossapitotoimenpidettä, ennakoiva kunnossapitotoimenpide on kallis tai laite kriittisyytensä vuoksi matala. (Smith et al. 2004, s. 19–37)

## **Kalibrointi ja viritys**

Automaatiokunnossapidossa kalibrointi on yksi tärkeimmistä suunnitelluista kunnossapitotoimenpiteistä. Kalibroinnilla tarkoitetaan mittausarvojen testaamista siten, että anturin antamia mittausarvoja verrataan tunnettuihin arvoihin, joita halutaan mitata. Nämä tunnetut arvot saadaan tarkemmilla kalibrointilaitteilla, jotka puolestaan kalibroidaan testilaboratorioissa. Kalibroinnin avulla saadaan dataa, jonka avulla voidaan säätää ulostuloa niin, että se on haluttujen rajojen sisällä tai kompensoida virhettä. (Goettche 2005, s.18, 299–301)

Kehittyneiden kalibrointilaitteiden ansiosta kentällä tehtävä kalibrointi on yleistynyt selvästi. Kalibrointilaitteiden tarkkuus on lähes laboratoriotasoa, ne kestävät kenttäolosuhteita hyvin ja ovat helposti liikuteltavia. Kenttälaitteiden kalibrointi on mahdollista tehdä irrottamatta itse laitetta prosessista, joka helpottaa kalibroinnin suorittamista entisestään (Goettche 2005 s.299–301).

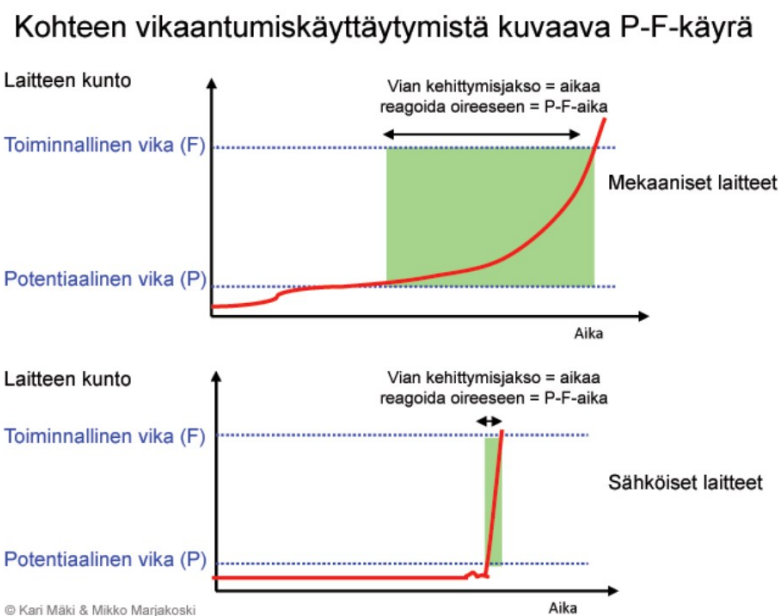


## 2.6 Vikaantuminen

Kunnossapidon tärkein osa-alue on vikojen syntymisen ja kehittymisen ymmärtäminen, koska tämän päivän kunnossapidossa vikojen tehokas estäminen on tärkeämpää kuin vikojen korjaaminen tehokkaasti.

RCM:n yhteydessä laitteen vikaantumisella tarkoitetaan laitteen kykenemättömyyttä toteuttaa sille määritettyä toimintoa määritetyllä suorituskyvyllä.

Vikaantumisen kehittymisen vaiheita voidaan kuvata P-F-käyrällä. Käyrältä voidaan huomata, että vika kehittyy aluksi huomaamattomasti, kunnes se alkaa oireilla. Jotkin viat kehittyvät riittävän hitaasti, jotta niihin voidaan reagoida korjaavilla toimenpiteillä. Tämä reagointiaika vaihtelee kuitenkin vuosista sekunteihin riippuen vikaantumismekanismista. (Järviö et al. 2007. s. 56)



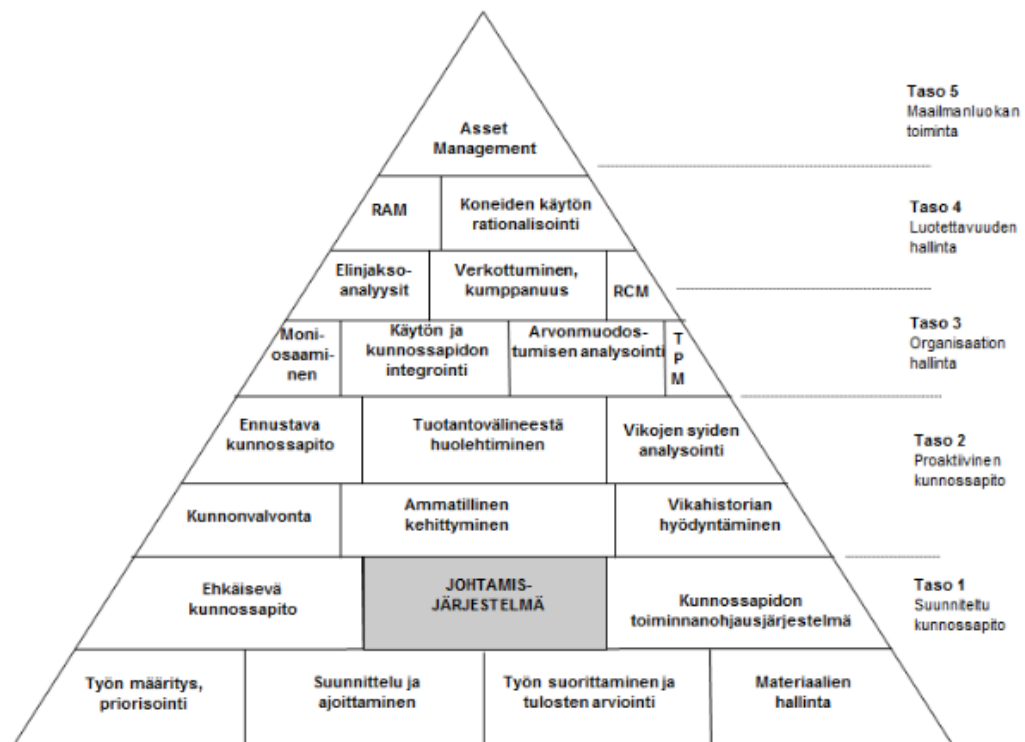
**Kuva 2.** Erot laitteiden vikaantumiskäyttäytymisessä (AEL 2015, Knowpulp)

Kuten kuvan 2 P-F-käyrästä nähdään, on sähköisten ja mekaanisten laitteiden vikaantumiskäyttäytymisten välillä huomattavia eroja. P-F-käyrän piste P tarkoittaa ajanhetkeä, jolloin vika kohteessa on saanut alkunsa ja on jollakin tavalla havaittavissa. F-pisteessä kohde vikaantuu, eikä se pysty toteuttamaan sille määritettyä toimintoa toivotulla suorituskyvyllä. (AEL 2015, Knowpulp)

Mekaanisten laitteiden P- ja F-pisteiden välillä on huomattavasti enemmän reagointiaikaa kuin sähköisten laitteiden vastaavilla pisteillä. Tämä kertoo siitä, että sähkö- ja automaatiolaitteiden vikojen oireen kehittyvät huomattavasti nopeammin toimintahäiriöksi. Juuri tämä lyhempi reagointiaika näkyy erona mekaanisissa ja sähköisissä ennakko- ja huoltotoissa. Mekaanisten laitteiden kunnonvalvonta on huomattavasti helpommin toteutettavissa kuin sähköisten laitteiden.

## 2.7 Kunnossapitostrategiat

Vuosien varrella on kehitetty monia erilaisia kunnossapitostrategioita, joista yleisimmät esitellään tässä. Kunnossapito jakautuu eri tasoille, joihin esitellyt strategiat sijoittuvat. Eri tasot kuvaavat kunnossapito-organisaation kehitystasoa. Korkeimmalle tasolle sijoittuu Asset Management, jonka tarkoituksena on kunnossapidon kokonaisuuden hallinta, kun taas RCM ja TPM sijoittuvat alemmille tasoille, luotettavuuden ja organisaation hallintaan. Järviön kirjassa on kuvattu kunnossapidon strategioiden sijoittumiset pyramidiin, joka esitetään kuvassa 3. Jotta ylemmän tason strategiaa voitaisiin hyödyntää tehokkaasti, on alempien tasojen kunnossapitostrategioiden oltava kunnossa. (Järviö et al. 2007, s. 94)



**Kuva 3.** Kunnossapitostrategioiden tasot (Järviö 2007, s. 94)

Kuvassa 3 esitetyn pyramidin avulla laitoksen kunnossapito voi myös arvioida omaa toimintaansa sijoittamalla itsensä oikealle tasolle.

## 2.8 TPM

Total Productive Maintenance eli TPM (kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito) on kunnossapitostrategia, jossa painotetaan kaikkien osapuolien osallistumista, aktiivisuutta ja jatkuva-aikaista toiminnan parantamista.

TPM:n keskeisimmät päämäärät ovat:

- systeemin kokonaistehokkuuden maksimoiminen
- kunnossapitosysteemin kehittäminen, joka kattaa laitteen eliniän
- sitoa mukaan kaikki ihmiset jotka liittyvät koneen käyttämiseen, kunnossapitoon tai suunnitteluun
- sitoa mukaan koko yrityksen henkilökunta
- kunnossapidon suunnittelun siirto sellaisille henkilöille, jotka käyttävät ja huoltavat konetta

TPM-prosessissa kartoitetaan suurimpien kunnossapitokohteiden ongelmat ja aloitetaan niiden ratkaisemisesta. Näin saadaan nopeasti hyviä taloudellisia tuloksia. Järviön (2007) mukaan TPM koostuu neljästä eri vaiheesta, jotka ovat suunnittelu, mittaus, kunnostus ja huippukuntovaihe.

TPM:lle on ominaista, että siinä hyödynnetään paljon tiimityöskentelyä kunnossapitäjien ja käyttäjien välillä. (Järviö et al. 2000)

## 2.9 RCM

RCM:n eli luotettavuuskeskeisen kunnossapidon päämääränä on määrittää kunnossapidettävälle kohteelle käytännöllisimmät kustannustehokkaat kunnossapitotoimenpiteet, jotta vikaantumisen riski pieninisi. Tavoitteeseen päästään tunnistamalla jokaisen systeemin vikaantumismekanismit ja niiden seuraukset. Tämän avulla on mahdollista pitää yllä sistemien toimintakykyä kaikkein kustannustehokkaimmalla tavalla.

RCM yhdistelee siis korjaavaa, ehkäisevää ja ennakoivaa kunnossapitoa määritellessään kaikkein kustannustehokkainta tapaa ylläpitää kohteen toimintakuntoa. (NASA, 2008, s. 17–19)

## 2.10 Asset Management

Kunnossapidon lähestymistavoista yhtä uusimmista edustaa Asset Management eli käyttöomaisuuden hallinta. Asset Managementilla ei kuitenkaan tarkoiteta pelkästään käyttöomaisuuden hyvää huolenpitoa, vaan myös kykyä säätää tuotantolaitoksen tuotantoa siten, että käyttökustannukset olisivat aina optimaaliset. Asset management pyrkii yhdistämään TPM:n ja RCM:n kunnossapidon optimoimiseksi. (Järviö 2007, s. 85–98)

### 3. RCM – LUOTETTAVUUSKESKEINEN KUNNOS- SAPITO

RCM-metodi on saanut alkunsa Yhdysvaltojen ilmavoimissa ja lentoyhtiöissä 1970-luvulla. RCM keskittyy nimensä mukaisesti kahteen asiaan; kunnossapitoon ja luotettavuuteen. Alkuperäinen RCM-metodi on todettu kuitenkin hyvin kalliiksi ja työlääksi suorittaa, koska siinä ei oleteta mitään vaan tutkitaan kaikki. Tämän takia RCM:stä on kehitetty useita eri versioita, joita ovat esimerkiksi klassinen RCM ja Streamlined RCM (SRCM). Jotta tällaista metodia olisi järkevää ja tehokasta hyödyntää teollisuudessa, on käytettävä kevennettyä versiota RCM:stä eli SRCM-metodia, joka hyödyntää samankaltaisten prosessien ja laitteiden lähtötietoja päätösten tekemiseen. SRCM:ssä voidaan tiettyjä vikaantumismuotoja jättää analysoimatta. (NASA, 2008, s. 21; August 2004, Järviö 2007 s. 125)

SRCM:ssä pyritään tunnistamaan ja ottamaan käyttöön ilmeiset kuntoon perustuvat kunnossapitotoimenpiteet vähäisellä analysoinnilla. Kustannuksiltaan pieniä kunnossapitotoimenpiteitä vähennetään tai poistetaan historiadataan tai kohdealueen kunnossapitohenkilöstön kokemuksiin perustuen. Tavoitteena on vähentää vika- ja vaikutusanalyysiin kuluva aikaa. (NASA 2008, s. 21)

RCM-metodilla pyritään ratkaisemaan perinteisen kunnossapidon ongelma, joka on ennakko- ja huollon suunnittelu. Ennakko- ja huoltoa on aiemmin tehty huomattavasti liian paljon sen tarpeeseen nähden ja sitä on kohdistettu väärin. Kunnossapitotoimenpiteitä kohdistetaan liikaa sellaisiin paikkoihin, missä sitä ei tarvittaisi ja liian vähän kohteille, joissa tarve olisi suurempi. Tämä ajattelumalli juontaa juurensa vuosikymmenten taa, jolloin ajateltiin, että ennakoivaa kunnossapitoa tehdessä vikaantumiset voidaan välttää, vaikkei tuloksista olisi mitään takeita. Kaikki tämä on seurausta tehokkaan suunnittelumenetelmän ja työkalun puutteesta. (Järviö 2007, s. 123)

#### 3.1 RCM-analyysin tavoitteet

RCM on metodi, jota hyödynnetään kunnossapidon suunnittelussa. RCM on siis kunnossapito-ohjelman luomiseen tarkoitettu työkalu (August 2004, s.2). Moubrayn (1997) mukaan metodin tärkeimmät päämäärät ovat:

- Prosessin laitteiden priorisointi, jotta voidaan kohdistaa kunnossapitotoimenpiteet sellaisiin kohteisiin, joissa sitä eniten tarvitaan. Priorisointikriteereistä tavanomaisimmat ovat muun muassa korjauskustannukset, turvallisuus- ja ympäristöriskit ja lopputuotteen laatu
- Pohjan luominen tehokkaiden kunnossapitomenetelmien käytölle laitteiden vikaantumismekanismeihin perustuen

- Kunnossapidon kohdistamisella oikeisiin paikkoihin on mahdollista laskea kunnossapitokustannuksia ja parantaa laitteiden luotettavuutta

RCM:n tavoitteena on varmistaa tuotantovälineiden mahdollisimman korkea toimintaste. RCM voidaan ajatella myös riskienhallinnan keinona, joka tunnistaa laitoksen komponenttien vikaantumisten riskit. Kun riskit tiedetään, on kriittisten laitteiden vikaantumismuodot mahdollista ennakoida. RCM:n ideaalisena tuloksena saadaan siis kunnossapito-ohjelma, jossa ei tapahdu vikaantumisia, jotka ovat olleet tiedossa ja estettävissä. Samalla resurssit käytetään mahdollisimman kustannustehokkaasti (August 2004 s.1-9; Järviö et al. 2007).

Suuri teollisuuslaitos koostuu suuresta määrästä komponentteja, joiden on toimittava saumattomasti yhteen, jotta voidaan saavuttaa määritellyt tavoitteet. RCM tunnistaa näiden laitoksen komponenttien toiminnot ja kertoo miksi ne ovat koko systeemin kannalta tärkeitä.

### **3.2 RCM:llä saavutettavat hyödyt**

RCM-analyysin suorittaminen kohdeosastolla parantaa osaston toimintavarmuutta ja käytettävyyttä. Analyysin myötä potentiaaliset viat opitaan tunnistamaan ennen kuin ne kehittyvät toiminnallisiksi vioiksi.

Kunnossapidon kustannustehokkuus paranee analyysin myötä, sillä rutiinikunnossapito-toimenpiteitä voidaan vähentää ja sykliä pidentää. Myös uusien teknologioiden käyttöönotto helpottuu, kun osataan määrittää kriittiset kohteet, joissa tällaisia uusia kunnossapitoteknologioita on kannattavaa hyödyntää. Kunnossapitokustannusten pieneneminen ei kuitenkaan näy heti, vaan ne voivat jopa nousta alussa hetkellisesti. Tämän jälkeen kustannukset laskevat, mikä on oikeiden ennakoivien kunnossapitotoimenpiteiden ansiota. (Järviö et al. 2000, s. 150–151; NASA 2008, s. 26)

### **3.3 RCM prosessi**

RCM-prosessin avulla määritellään, millaisia toimenpiteitä on tehtävä, jotta varmistetaan laitteen tekevän omistajansa haluamaa toimintoa laitteen senhetkisessä toimintaympäristössä. (Järviö 2007 s. 127)

Moubray (1997) määritteli RCM-prosessin vaiheiksi alla olevat seitsemän pääkohtaa:

1. Kohteen toimintojen ja suorituskykyvaatimusten määrittäminen
2. Kohteen toiminnallisten vikojen määrittäminen
3. Vikaantumismuotojen kartoitus
4. Vikaantumisten vaikutusten selvittäminen
5. Vikojen seurausten määrittäminen

6. Ennakoivien kunnossapitotoimenpiteiden määrittäminen kohteelle
7. Korjaavien toimenpiteiden määrittäminen

RCM-prosessi toimii tärkeänä ennakkovaiheena analysoidun kohteen kunnossapitotoimenpiteitä ja -lajeja valittaessa. Se luo pohjan ennakkohuolto- ja kunnonvalvontatoimenpiteiden suunnittelulle. (Mikkonen 2009, s.78)

### **Kohdealueen valinta ja raja**

Projektin alussa valitaan kohdealue, jolle RCM-analyysi suoritetaan. Kohdealueen valintaan liittyy kuitenkin myös tarvittavien tietojen kuten piirustusten keräystä. Kohdetta valitessa on otettava huomioon myös kyseisen kohdealueen kokenut henkilöstö, jonka tulee olla osana analyysiä ja päätöksentekoa.

Alueen rajauksen lisäksi on myös määritettävä tarkemmat rajat systeemille, jolle analyysi suoritetaan. Tällaisia rajoja voidaan tehdä esimerkiksi niin, että analyysin kohteeksi otetaan kaikki säätö- ja instrumentointilaitteet, niihin liittyvät voimanlähteet kuten sähkönsyöttö ja paineilmansyöttö. RCM-prosessia suoritettaessa on tehtävä päätöksiä, mitä laitteita rajataan analyysin ulkopuolelle. (IAEA, 2008, s. 6)

Laitelistan avulla voidaan määrittää kohdesysteemissä tarvittavat komponentit. Listalla olevat komponentit ovat laitteita, joilla on mahdollisuus vikaantua aiheuttaen häiriöitä systeemin toiminnassa. Laitelista auttaa luokittelemaan laitteiden vikaantumismekanismeja niiden kriittisyyden mukaan, joka perustuu esimerkiksi komponentin vikaantumistaajuuteen. (August 2004, s.12–17)

### **Kohteiden priorisointi**

Jotta ennakkohuoltotoimenpiteet voitaisiin kohdistaa oikein kaikkein tärkeimmille kohteille, ovat tarkastelualueen laitteet laitettava tärkeysjärjestykseen erilaisten tekijöiden perusteella. Tähän tarkoitukseen hyödynnetään kriittisyysluokittelua, joka kohdistetaan sähkö- tai automaatiopiirille. Kriittisyydellä tarkoitetaan ominaisuutta, jolla kuvataan riskin suuruutta. Kohde luokitellaan kriittiseksi, mikäli siihen liittyvä riski ei ole hyväksyttävällä tasolla. Tämä riski voi liittyä turvallisuuteen, ympäristöön, aineellisiin vahinkoihin tai tuotannon menetykseen. (PSK 6800, s.2)

PSK 6800-standardissa on kuvattu laitteiden kriittisyysluokitteluun soveltuva pohja. Kriittisyysluokittelun tavoitteena on tavoitteena luoda kunnossapitosuunnitelmalle lähtötiedot. Standardissa kriittisyysluokittelu on tehty taloudellisten vaikutusten näkökannalta. Kriittisyysluokittelu koostuu seitsemästä vaiheesta, jotka ovat:

1. Tarkastelun laajuuden määrittäminen
2. Tuotannon menetyksen painoarvo standardin mukaan
3. Arvioidaan muut painoarvot sovellettavalle teollisuuden toimialalle sopiviksi

4. Listataan luokittelun kohteena olevat laitteet
5. Valitaan laitteille kertoimet standardin mukaan
6. Lasketaan laitteille kriittisyysindeksit
7. Listataan laitteet kriittisyysjärjestyksessä

Yleisimpiä osa-alueita kriittisyysluokittelussa ovat tuotannon- tai laadun menetys, korjauskustannukset ja ympäristö- ja turvallisuusriskit. Näistä osa-alueista suurimman painoarvon saavat sellaiset kohteet, joiden vikaantumisella on suuri turvallisuus- tai ympäristöriski. (PSK 6800, s. 8-10)

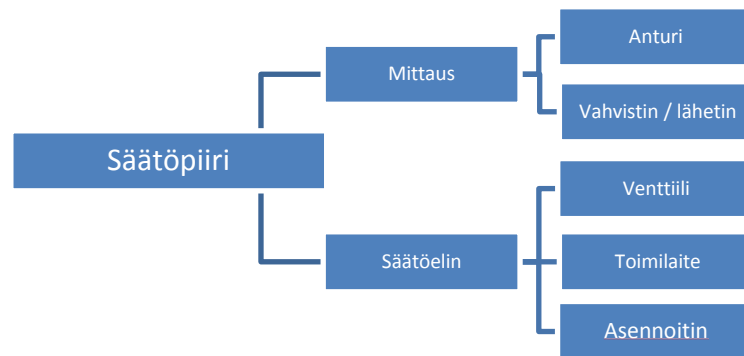
Standardin painokertoimien määrittely alkaa ylimmältä tasolta, eli tuotantolaitoksen tasolta. Koko tuotantolaitoksen painokerroin on siis 100 %. Tästä alaspäin painokertoimia määritellään eri tuotantolinjoille esimerkiksi kapasiteetin mukaan. Painoarvojen määrittelyä voidaan jatkaa aina osaprosesseista laitetasolle asti.

Kriittisyysluokittelun avulla saadaan järjestettyä tarkasteltavat kohteet kriittisyyksien mukaan. Mikäli parametrit on mitoitettu oikein ja analyysijä on suoritettu sekä käytön että kunnossapidon kesken riittävällä asiantuntijuudella, on kriittisyysluokittelun tulos yleensä luotettava. (Mikkonen 2009, s.150)

Kanninen (2013, s 49–51. ) kehitti mekaanisen kunnossapidon kriittisyysluokittelumallin PSK 6800 standardin pohjalta UPM:lle paremmin soveltuvaksi. Mekaanisten ja automaatiolaitteiden välillä huomattiin kuitenkin eroavaisuuksia ja sen takia kriittisyysmallia päätettiin muokata automaatiolaitteille paremmin soveltuvaksi.

### **Kriittisyysluokittelumalli automaatiolaitteiden arviointiin**

Laitehierarkia Kaukaalla on puumainen, jossa alimmalla tasolla ovat yksittäiset kenttälaitteet. Koska sähkö- tai automaatiopiirille on määritetty siltä vaadittu toiminto, päätettiin kriittisyysluokittelu suorittaa piirikohtaisesti. Piirikohtaisessa luokittelussa otetaan huomioon se, että mikäli yksikin komponentti piirissä vikaantuu, ei piiri suorita siltä vaadittua toimintoa vaaditulla tehokkuudella. Säättöpiirin esimerkkirakenne on esitelty kuvassa 4.



**Kuva 4.** Automaatiopiirin esimerkkirakenne

Eri komponenttien vikaantuminen vaikuttaa piirin toimintaan eri tavoin, mutta yhteistä näille kaikille vikaantumisille on se, että piiri ei toimi siltä vaaditulla tavalla. Toinen syy piirikohtaiseen käsittelyyn on se, ettei toiminnanohjausjärjestelmä mahdollista laitteiden luokittelua kriittisyyden mukaan. Tästä puutteesta seuraa se, että jokainen piirille kuuluva laite saa saman kriittisyysluokan ja luokittelu täytyy tehdä kriittisimmän laitteen mukaan.

Vikaantumisilla voi olla seuraavia vaikutuksia esimerkkipiirissä:

1. Mittalaitteen kuten magneettisen virtausanturin tai sen vahvistimen vikaantuminen aiheuttaa virtaussäädön toimimattomuuden ja virtausta täytyy säätää manuaalisesti venttiilin kulmaa ohjaamalla. Tämä voi aiheuttaa mahdollisia laatukustannuksia, jotka aiheutuvat käsisäädön epätarkkuudesta ja kyvyttömyydestä vastata muutoksiin prosessissa riittävän nopeasti
2. Venttiilin jumiutuminen johtaa siihen, että venttiili jää pahimmassa tapauksessa toiseen ääriasentoonsa, joka pysäyttää tuotannon tai estää turvallistamisen

Tässä tapauksessa piiri tulisi luokitella venttiilin vikaantumisen mukaan, koska se on näistä laitteista kaikkein kriittisin. Kriittisyysluokittelussa tehdään myös oletus, että kohde vikaantuu vain yhdellä tavalla kerrallaan.

Sähkö- ja automaatiolaitteiden kriittisyysluokittelumalli rakennettiin mekaanisen kriittisyysluokittelun pohjalta. Kannisen (2013) versio kriittisyysluokittelumallista esitellään taulukossa 1.



**Taulukko 1.** Kriittisyysluokittelumalli (Kanninen 2013, s.51)

<b>A</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi, yli 24h	Laatukustannukset vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä, yli 8h	Erittäin korkeat, yli 50000€	Lyhyt, 0 - 0,5 vuotta	Vakava, voi aiheuttaa kuolonuh- rin/uhreja ja vaka- van vaaratilanteen tehtaan ympäris- tössä	Vakava, voi aiheut- taan ympäristön ja lähialueiden saastu- misen, palautumi- nen kestää vuosia
<b>B</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittä- väksi ajaksi, 10-24h	Laatukustannukset vastaavat merkittä- vää tuotannonmene- tystä, 3 - 8h	Korkeat, 25000 - 50000€	Lyhyehkö, 0,5 - 2 vuotta	Merkittävä, voi ai- heuttaa kuolonuh- rin/uhreja	Merkittävä, voi ai- heuttaa ympäristön ja lähialueiden saas- tumista
<b>C</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi, 3-10h	Laatukustannukset vastaavat lyhytai- kaista tuotannon- menetystä, 1-3h	Keskinkertaiset 5000 - 25000€	Pitkähkö, 2 - 5 vuotta	Kohtalainen, esim. vakava loukkaantu- minen, josta jää pysyvä vamma	Kohtalainen, voi ai- heuttaa ympäristön saastumista tehdas- alueella, esim. suuri öljyvuoto
<b>D</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi, alle 3h	Laatukustannukset vastaavat hetkellistä tuotannonmene- tystä, alle 1h	Vähäiset 0 - 5000€	Pitkä, yli 5 vuotta	Vähäinen, esim. lievä loukkaantu- minen/ sairastumi- nen	Vähäinen, voi ai- heuttaa ympäristön likaantumisen teh- dasalueella, esim. pieni öljyvuoto
<b>E</b>	Kohteen toimimatto- muudella ei merkitystä osaprosessille tai osas- tolle	Kohteen toimimat- tomuus ei aiheuta lopputuotteen laa- tukustannuksia	Ei merkitystä suh- teessa muihin mene- tyksiin		Ei Turvallisuusriskiä	Ei ympäristöriskiä
	<b>Tuotannon menetys</b>	<b>Laatukustannukset</b>	<b>Korjauskustannukset</b>	<b>Vikaantumis- väli</b>	<b>Turvallisuusriski</b>	<b>Ympäristöriski</b>

Kohde saa kriittisyysluokan kuuden komponentin painotettuna keskiarvona. Jokainen komponentti saa luokan välillä A-E, joista A on kaikkein korkein luokitus ja E matalin. Kohteen kriittisyysluokka on kuitenkin välillä A-D ja luokka E merkitsee sitä, ettei kohdetta ole käsitelty. Luokiteltavat komponentit ovat tuotannon menetys, laatukustannukset, korjauskustannukset, vikaantumisväli, turvallisuusriski ja ympäristöriski.

Tuotannonmenetys-komponentilla kohde luokitellaan sen mukaan, aiheuttaako kohteen vikaantuminen suoraan tuotannon pysähtymisen. Laatukustannukset-komponentti puolestaan kertoo aiheuttaako kohteen vikaantuminen lopputuotteen laadun alenemista tai ylimääräisiä kustannuksia, jotta laatu saadaan pidettyä riittävällä tasolla.

Korjauskustannuksia arvioitaessa on otettava huomioon varaosan arvo ja vaihtotyön kus- tannukset sisältäen mahdolliset teline- tai nosturikustannukset. Vikaantumisväli-komponentilla pyritään määrittämään kuinka usein kohde vikaantuu ja sitä täytyy korjata. Viimeisenä arvioidaan laitteen vikaantumisesta aiheutuvaa turvallisuus- ja ympäristöriskiä.

Mallia sovitettaessa automaatiopiirien luokitteluun, huomattiin että korjauskustannukset poikkesivat huomattavasti mekaanisten kohteiden korjauskustannuksista. Tämän johdosta päätettiin korjauskustannusten raja-arvoja laskea automaatiokohteiden luokitte- lussa. Automaatiolaitteiden kriittisyysluokitteluun käytetyt kriteerit on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** *Automaatiolaitteiden kriittisyysluokittelumalli*

<b>A</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi, yli 24h	Laatukustannukset vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä, yli 8h	Erittäin korkeat, yli 25000€	Lyhyt, 0 - 0,5 vuotta	Vakava, voi aiheuttaa kuolonuh- rin/uhreja ja vakaan vaaratilanteen tehtaan ympäristössä	Vakava, voi aiheuttaa ympäristön ja lähialueiden saastumisen, palautuminen kestää vuosia
<b>B</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi, 10-24h	Laatukustannukset vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä, 3 -8h	Korkeat, 5000 - 25000€	Lyhyehkö, 0,5 - 2 vuotta	Merkittävä, voi aiheuttaa kuolonuh- rin/uhreja	Merkittävä, voi aiheuttaa ympäristön ja lähialueiden saastumista
<b>C</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi, 3-10h	Laatukustannukset vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä, 1-3h	Keskinkertaiset 1000 - 5000€	Pitkähkö, 2 - 5 vuotta	Kohtalainen, esim. vakava loukkaantuminen, josta jää pysyvä vamma	Kohtalainen, voi aiheuttaa ympäristön saastumista tehdas-alueella, esim. suuri öljyvuoto
<b>D</b>	Pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi, alle 3h	Laatukustannukset vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä, alle 1h	Vähäiset 0 - 1000€	Pitkä, yli 5 vuotta	Vähäinen, esim. lievä loukkaantuminen/ sairastuminen	Vähäinen, voi aiheuttaa ympäristön likaantumisen tehdas-alueella, esim. pieni öljyvuoto
<b>E</b>	Kohteen toimimattomuudella ei merkitystä osaprosessille tai osastolle	Kohteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia	Ei merkitystä suhteessa muihin menetyksiin		Ei Turvallisuusriskiä	Ei ympäristöriskiä
	<b>Tuotannon menetys</b>	<b>Laatukustannukset</b>	<b>Korjauskustannukset</b>	<b>Vikaantumisväli</b>	<b>Turvallisuusriski</b>	<b>Ympäristöriski</b>

Toinen asia, joka mekaanisessa kriittisyysluokittelumallissa katsottiin olevan sopimaton automaatiolaitteiden luokitteluun, olivat eri komponenttien painokertoimet. Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty sekä mekaanisen mallin painokertoimet ja automaatiolaitteiden käsitteilyyn soveltuvammat painokertoimet.

**Taulukko 3.** *Mekaanisen kriittisyysmallin painokertoimet (Kanninen 2013, s.51)*

	A	B	C	D	E
Tuotannon menetys	8	6	3	2	0
Laatukustannukset	4	3	2	1	0
Korjauskustannukset	8	6	3	2	0
Vikaantumisväli	4	3	2	1	0
Turvallisuusriski	16	12	8	4	0
Ympäristöriski	16	12	8	4	0

**Taulukko 4.** *Automaation kriittisyysmallin painokertoimet*

	A	B	C	D	E
Tuotannon menetys	8	6	3	2	0
Laatukustannukset	8	6	3	2	0
Korjauskustannukset	4	3	2	1	0
Vikaantumisväli	4	3	2	1	0
Turvallisuusriski	16	8	4	2	0
Ympäristöriski	16	8	4	2	0

Kuten ylläolevista taulukoista huomataan, on mekaanisten kohteiden luokittelussa painotettu laitteen vikaantumisen aiheuttamaa tuotannonmenetystä ja kohteen korjauskustannuksia. Nämä ovat perusteltuja valintoja, sillä tuotannon menetys on taloudellisesti merkittävin vaikutus ja korjauskustannukset ovat todennäköisesti toiseksi merkittävimmät. Automaatiolaitteita tarkasteltaessa tuotannon menetystä painotetaan kuten mekaanisessa luokittelussa, mutta suurin ero tulee siinä, että korjauskustannusten sijaan painotetaan vikaantumisesta aiheutuvia laatukustannuksia. Tämä voidaan perustella sillä, että laatukustannusten taloudellinen vaikutus on suurimmassa osassa vikaantumisia suurempi kuin itse mittalaitteen korjauskustannukset. Suurin merkitys kuitenkin luokittelussa on vikaantumisesta aiheutuvalla turvallisuus- ja ympäristöriskeillä. Kuten taulukoista huomataan, näiden molempien painokertoimet ovat huomattavasti korkeammat kuin muilla.

### **Esikarsinnan perusteet**

Koska jokaisen kohteen eli tässä tapauksessa automaatiopiirin käyminen läpi klassisen RCM:n tarkkuudella veisi sellutehtaan kokoisessa laitoksessa erittäin paljon aikaa, päädyttiin kriittisyysluokiteltavia kohteita vähentämään esikarsinnan avulla. Piirien esikarsinnassa pyritään löytämään sellaisia piirien ominaisuuksia, joiden perusteella piirit voitaisiin luokitella suoraan johonkin ennalta määrättyyn kriittisyysluokkaan. Näin piirit, joiden ominaisuudet katsotaan samanlaisiksi, voidaan luokitella esikarsinnan perusteella.

Tällaisen karsinnan kohteiksi muodostuivat useimmiten sellaiset automaatiopiirit, joiden toiminnallisuus on sovelluskohteesta riippumatonta, kuten esimerkiksi tehdassalien ilmanvaihtolaitteet. Toinen suuri kokonaisuus oli ohjelmalliset piirit, joita tehtaan automaatiojärjestelmään oli luotu. Pohdintojen jälkeen tultiin siihen tulokseen, että ohjelmalliset piirit karsitaan pois kriittisyysluokittelun parista.

Esikarsinnan perusteiksi päätettiin muun muassa seuraavat:

- Ohjelmallisesti toteutetut piirit luokitellaan kriittisyysluokkaan D
- Sekvenssi- ja ohjelmalliset piirit luokitellaan luokkaan D
- Paikalliset mittauspiirit luokitellaan luokkaan D
- Ilmanvaihtolaitteet luokitellaan suoraan luokkaan D

Vaikka talteenottolinjan instrumenttipiireille suoritettiin esikarsinta ja huomattava määrä niistä saatiin pudotettua pois luokittelun piiristä, jäi luokiteltavia kohteita jäljelle noin 2200 kappaletta.

## **FMEA – Vika- ja vaikutusanalyysi**

Jotta kunnossapitotoiminta olisi tehokasta, täytyy laitteiden vikaantumistavat tuntea hyvin. Laitteet voivat vikaantua useilla eri tavoilla. Usein vikaantuminen huomataan vasta siinä vaiheessa, kun laite on jo vikaantunut ja sen korjaaminen siirtynyt kunnossapidon tehtäväksi. Mikäli vikaantumistapoja voidaan tunnistaa ja analysoida, on mahdollista ennaltaehkäistä nämä syntyvät viat.

Kun vikaantumistapa on tunnistettu, voidaan sen vaikutuksia kyseisessä prosessin osassa arvioida ja päättää, mitä mahdollisia ennakkoivia kunnossapitotoimenpiteitä kohteelle voidaan suorittaa vian ehkäisemiseksi. Juuri näiden vikaantumisten, niiden syiden ja ennaltaehkäisevien toimenpiteiden selvittämiseen käytetään vika- ja vaikutusanalyysiä. (Järviö 2007 s. 52–53)

1950-luvulla kehitetty vika- ja vaikutusanalyysi on yksi ensimmäisistä systemaattisista luotettavuuden analysointiin käytettävistä metodeista. Vika- ja vaikutusanalyysi eli VVA on menetelmä, jolla analysoidaan toimintavarmuutta. Menetelmän tavoitteena on listata laitteiden potentiaalisia vikaantumismekanismeja ja niiden vaikutuksia. VVA:n toinen tärkeä tavoite on luoda pohja systemaattisille luotettavuus- ja käytettävyyksianalyysille. (Rausand et al. 2009, s. 89–90)

Menetelmän tarkoitus on tunnistaa sellaisia vikoja, jotka vaikuttavat tarkasteltavan järjestelmän toimintaan ja suorituskyykyyn. VVA perustuu järjestelmä- ja komponenttita-soista alimmalle sellaiselle tasolle, jolle voidaan määrittää vikaantumistavat. Järjestelmän toimintahäiriöiden, vikojen ja suorituskyyvyn huonontumisen välille voidaan määrittää yhteys peruskomponenttien vikaantumistapoihin ja systeemin toiminnalliseen rakenteeseen perustuvan VVA:n avulla. (SFS 5438, 1998)

## **Riskien arviointi**

Riskien arviointia käytetään apuna, kun päätetään, millaisia kunnossapitotoimenpiteitä kullekin kohteelle suoritetaan. Esimerkiksi joissakin kohteissa voi olla perusteltua käyttää korjaavaa kunnossapittoa, mikäli RCM-analyysissä on tunnistettu, että vikaantumisen taloudelliset- ja henkilöriskit ovat pienemmät kuin jatkuvan kunnossapidon kustannukset ja riskit. (NASA 2008, s. 49)

Ennakkohuoltotoimenpiteiden päättämisen ja niiden hyödyllisyyden perustelun tueksi kehitettiin riskinarviointimalli, joka kertoo suuntaa antavan rahallisen arvion piirin vikaantumisesta johtuvasta riskistä. Tällainen suuntaa antava arvio luo pohjaa perusteluille siitä, että mahdolliselle korkean riskin laiteelle kannattaa kohdistaa ennakkohuoltotoimenpiteitä, mikäli mahdollista.

Kriittisyysluokittelun avulla voidaan jokaiselle arvioitavalle kohteelle määrittää taloudellinen riski, joka kohteen vikaantumisesta aiheutuu. Riski kuvaa millaisia vaikutuksia seuraa, mikäli minkäänlaisia ennakoivia kunnossapitotoimenpiteitä ei suoriteta. Kriittisyysluokittelun komponenttien kuten, tuotannon menetyksen tai laatuksustannusten kautta voidaan laskea huonoin mahdollinen tilanne, mikä huoltotoimenpiteiden laiminlyömisestä voi aiheutua.

		Kriittisyysluokittelun tuotannonmenetys-komponentti						
		E	D	C	B	A		
Vikaantumistaajuus (1 / Vuosi)	4	0	105000	420000	1155000	1680000	A	Kriittisyysluokittelun vikaantumisväli-komponentti
	0,8	0	21000	84000	231000	336000	B	
	0,3	0	7508	30030	82583	120120	C	
	0,2	0	5250	21000	57750	84000	D	
	0	0	0	0	0	0	E	
		0	1-210000 €	10501-630000 €	31501-1680000 €	> 1680000 €		
		Kokonaisepäkäytettävyysskustannukset (€)						

**Kuva 5.** Riskinarviointimatriisi

Vikaantumisen riskin arvioimisen helpottamiseksi kehitettiin kuvassa 5 esitetty riskinarviomatriisi, joka havainnollistaa riskin suuruutta kriittisyysluokittelun komponenttien suhteen. Matriisin y-akselilla on vikaantumistaajuus, joka on laskettu kriittisyysluokittelun vikaantumisväli-komponentin avulla. Vikaantumistaajuudella kuvataan sitä, kuinka monta kertaa automaatiopiiri vikaantuu vuoden aikana, mikäli sille ei suoriteta ennakkohuoltoa. X-akselille on kuvattu tuotannon menetys tai laatuksustannukset. Kriittisyysluokittelussa tuotannon menetys ja laatuksustannukset on arvioitu aikavälein. Matriisin laskennassa on käytetty tämän aikavälin keskiarvoa. Tämän keskiarvon ja sellun liikevaihdon avulla voidaan laskea tappio, joka syntyy kohteen vikaantumisen seurauksena.

Riskiä arvioidessa otetaan huomioon myös korjauskustannukset, jotka syntyvät jokaisen vian korjaamisesta eli korjauskustannuksia muodostuu jokaisella vikaantumisella. Jokainen vikaantuminen ei kuitenkaan ole sellainen, että laite pitäisi vaihtaa ja kustannukset

ovat suurimmat. Mallin yksinkertaistamiseksi käytettiin kriittisyysluokittelussa annetun välin keskiarvoa.

Edellisen sivun matriisin solussa oleva summa muodostuu siis seuraavilla kaavoilla:

$$(T \cdot S + K) \cdot f_v \cdot t, \quad (5)$$

$$(L \cdot S + K) \cdot f_v \cdot t, \quad (6)$$

jossa

$T$  on tuotannon menetys ( $h$ )

$L$  on laatukustannus ( $h$ )

$S$  on liikevaihto tunnissa (€/h)

$K$  on korjauskustannukset (€/vika)

$f_v$  on vikaantumistaajuus ( $1/a$ )

$t$  on tarkastelujakson pituus ( $a$ )

Koska kohteen vikaantumisella voi olla sekä riskejä sekä tuotannon menetyksen, että laatukustannusten kautta, valitaan matriisin soluun kaavojen 1 ja 2 perusteella muodostuneista riskeistä suurempi.

Kokonaisepäkäytettävyyuskustannukset lasketaan menetetyn liikevaihdon ja korjauskustannusten summana. Korjauskustannukset lisätään kustannuksiin niin monta kertaa kuin piiri vikaantumistaajuuden mukaan vikaantuu tarkastelujakson aikana. Riskinarviomatriisista saadaan siis lähtöarvio taloudelliselle riskille, joka kohteen vikaantumisesta voi seurata, mikäli sille ei kohdisteta minkäänlaisia ennakoivia kunnossapitotoimenpiteitä. Tätä riskitasoa pyritään pienentämään RCM-prosessin suorittamisella niin, että riski on hyväksyttävällä tasolla.

## Ennakkohuoltotoimenpiteiden päättäminen

Jotta kohdelaitteen ennakkohuoltotoimenpiteet voidaan päättää, ovat työhön vaadittavat resurssit oltava määritettynä. Resurssien määrittämisessä on selvitettävä kuka mahdollisen ennakkohuoltotoimenpiteen suorittaa ja minkälaisia työkaluja tai varaosia siinä tarvitaan. Vasta resurssien määrittämisen jälkeen on mahdollista tehdä päätös siitä, että onko kyseistä ennakkohuoltotoimenpidettä kannattavaa tehdä kohdelaitteelle. (Järviö 2007 s. 126)

Kohteille on valittava sellaiset kunnossapitotoimenpiteet, joilla päästään mahdollisimman kustannustehokkaasti tavoitteisiin kohteen turvallisuudessa, luotettavuudessa ja ympäristöystävällisyydessä. Suoritettavien kunnossapitotoimenpiteiden valinnan tulee olla systemaattista. Tällaisia suoritettavia kunnossapitotoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi ehkäisevä kunnossapito, kunnonvalvonta, erilaiset kohteen tarkastukset ja RTF. (IAEA 2008, s. 4)

## 4. ANALYYSIN KOHDE

RCM-analyysin kohteena toimii UPM-Kymmene Kaukaan sellutehtaan talteenottolinja. Tässä luvussa kerrotaan hieman analyysin kohteen lähtötietoja ja taustoja.

### 4.1 UPM-Kymmene Oyj

UPM-Kymmene Oyj on yksi maailman suurimmista metsäteollisuusyrityksistä. Yhtiön tehtaat tuottavat sellua, paperia, energiaa, sahatavaraa, puutuotteita.

Yhtiön juuret yltävät 1870-luvulle, jolloin ensimmäiset yhtiöön kuuluvat paperitehtaat aloittivat toimintansa. Monien fuusioiden kautta muodostuneet Repola Oy ja Kymmene Oy sopivat fuusioitumisesta muodostaen yhden maailman suurimmista metsäteollisuusyrityksistä UPM-Kymmenen vuonna 1995.

Nykyiseen UPM-Kymmene Oyj:n kuuluu yli sata itsenäisenä aloittanutta yritystä. Nykyisin UPM jakautuu kuuteen eri liiketoiminta-alueeseen, jotka ovat Biorefining, Energy, Raflatac, Paper Asia, Paper ENA ja Plywood. Yhtiöllä on 20 000 työntekijää maailmanlaajuisesti 45 eri maassa ja UPM:n tuotantolaitoksia on 13 eri maassa. UPM:n sellutehtaat tuottavat vuodessa noin 3,4 miljoonaa tonnia havu-, koivu- ja eukalyptussellua. Tehon kokonaistuotanto on 1610 MW vuodessa, jolla UPM on Suomen toiseksi suurin sähkön tuottaja.

### 4.2 Kaukaan tehtaat

Toiminta Kaukaan nykyisellä tehdasalueella Lappeenrannassa sai alkunsa vuonna 1892, kun Mäntäsälässä toimineen rullatehtaan tuotanto siirrettiin Parkkarilan tilan alueelle Saimaan rantaan. Tehtaan siirron syy oli raaka-aineen saannin varmistaminen, sillä lankarullat valmistettiin koivupuusta. Näitä puisia lankarullia Kaukaalla valmisteettiin aina vuoteen 1972 saakka (UPM 2016a, UPM 2016b).





**Kuva 6.** *Kaukaan tehtaat (UPM 2016c)*

Nykyisin Kaukaalla tuotetaan sellua, paperia, sahatavaraa ja viimeisimpänä on alettu valmistaa sellunkeiton sivutuotteena syntyvästä mäntyöljystä biodieseliä. Kaikki toiminnot muodostavat yhdessä tehokkaan tehdasintegraatin, jossa kaikki raaka-aineet ja tuotettu energia käytetään tehokkaasti hyväksi. Kaukaan tehtaat käyttävät vuosittain noin 5 miljoonaa kuutiota puuta ja tehdasalueella työskentelee noin 1000 henkilöä UPM:n eri yksiköiden tehtävissä (UPM 2016a).

Kaukaan sellutehdas on yksi kolmesta Suomessa toimivasta UPM:n sellutehtaasta. Näiden lisäksi UPM:llä on Uruguayssa Fray Bentosin sellutehdas. Kaukaan vuonna 1996 uudistetun sellutehtaan tuotantokapasiteetti on 740 000 tonnia sulfaattisellua vuodessa. Tehtaalla on kaksi tuotantolinjaa, joista toinen valmistaa valkaistua koivusellua ja toinen korkealaatuista armeerausmassaa mäntykuitupuusta ja saharakkeesta. Sellutehdas työllistää 260 henkilöä (UPM 2016a).

### 4.3 Talteenottolinja

Jotta sellun tuottaminen olisi kannattavaa, on kuitulinjojen yhteydessä oltava kemikaalien talteenottolinja, jossa sellunkeitossa käytettävät kalliit kemikaalit saadaan kierrätettyä takaisin käyttöön. Sivutuotteena tässä keittokemikaalien kierrättämisessä syntyy energiaa. Sellutehtaan talteenottolinja koostuu haihduttamosta, soodakattilasta, kaustistamosta ja meesauunista (AEL 2015, Knowpulp).



## Soodakattila

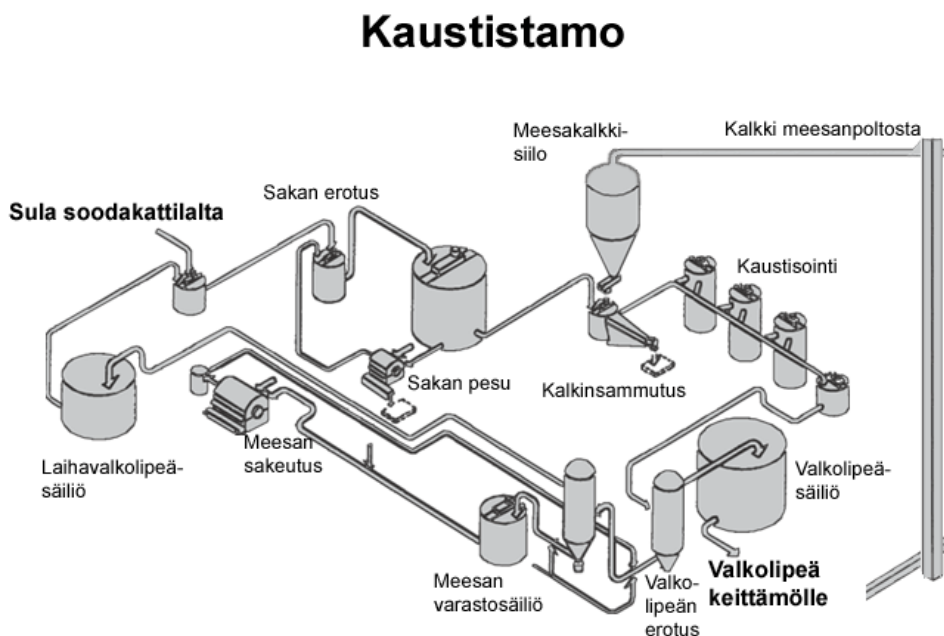
Seuraavana vaiheena prosessissa on soodakattila, jonka päätehtäviin kuuluu prosessikemikaalien talteenotto ja palamisprosessissa syntyvän lämmön talteenotto. Soodakattilassa mustalipeästä vapautuvat kemikaalit, rikki ja natrium otetaan talteen jatkokäsittelyyn sopivina yhdisteinä. Mustalipeässä muissa muodoissa oleva natrium muodostaa natriumkarbonaattia hiilidioksidin kanssa palamisreaktiossa.

Mustalipeässä olevan orgaanisen aineksen palamisessa syntyvä lämpöenergia käytetään puolestaan höyryn tuottamiseen. Tätä tuotettua höyryä voidaan käyttää turbiinin avulla sähköntuottamiseen sekä muissa prosesseissa lämmitykseen. (Knowpulp AEL, 2015)

## Kaustistamo

Kaustisointi kuuluu kemikaalikiertoon ja niin sanottuun kalkkikiertoon, jossa kalkki on kiertävä apukemikaali. Kalkkia käytetään soodakattilasta tulevan viherlipeän muuttamiseksi takaisin keitossa tarvittavaksi valkolipeäksi.

Mustalipeää poltettaessa soodakattilassa, muodostuu polttotuotteina natriumkarbonaattia ja natriumsulfidia jotka valuvat kattilan tulipesän pohjasta. Natriumkarbonaatti muutetaan sulfaattikeitossa tarvittavaksi natriumhydroksidiksi prosessilla, jota kutsutaan kaustisoinniksi (AEL 2015). Kaustistamon rakenne on esitetty kuvassa 8.



**Kuva 8.** Kaustistamon rakenne (Knowpulp AEL 2015)

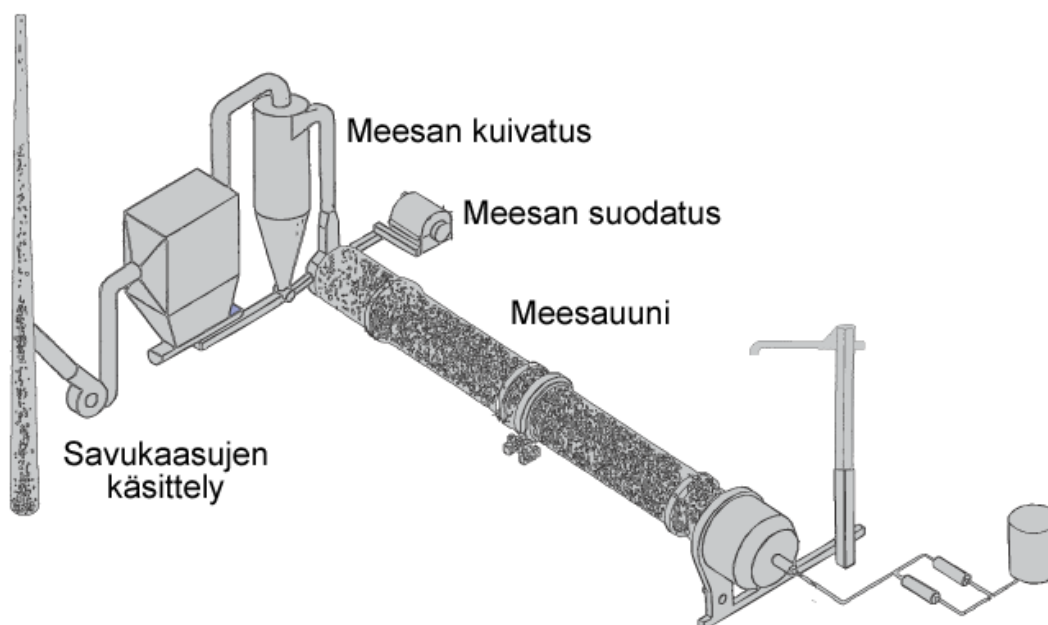
Ensimmäiseksi soodakattilasta tulevasta viherlipeästä poistetaan sakka suodattamalla. Sakan poistaminen parantaa meesauunin ja kaustistamon toimintaa. Tämän jälkeen viherlipeä kulkeutuu viherlipeäjähdyttimen kautta kaustisointiin.

Kaustisoinnin tarkoitus on muuttaa mahdollisimman suuri osa viherlipeässä olevasta natriumkarbonaatista ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) sammutetun kalkin avulla sellunkeitossa tarvittavaksi valkolipeäksi eli natriumhydroksidiksi ( $\text{NaOH}$ ). Kaustisointireaktiossa syntyy natriumhydroksidia ja meesaa, kun sammutettu kalkki ja natriumkarbonaatti reagoivat keskenään. Kaustisointi tapahtuu sarjassa olevissa säiliöissä, joita kutsutaan kaustisointiastiaksi. Jokaisessa astiassa on sekoitin, jolla estetään meesan laskeutuminen. Viimeisestä kaustisointiastiasta kalkkimaito ohjataan valkolipeän erotukseen.

Valkolipeän erotuksessa kalkkimaidosta erotetaan meesa ja valkolipeä toisistaan. Erilaisia menetelmiä ovat esimerkiksi selkeytys, imurumpusuodattimella suodattaminen ja painistetulla kiekkosuotimella suodattaminen. Valkolipeän erotuksen tavoitteena on saada mahdollisimman puhdasta valkolipeää, jonka meesapitoisuus olisi maksimissaan 30 mg/l. (KnowPulp AEL, 2015)

## Meesauuni

Meesauuni on toinen kalkkikiertoon kuuluvista osaprosesseista. Meesauunin rakenteen voi nähdä kuvasta 9. Kaustisoinnissa syntyvä kalsiumkarbonaatti eli meesa muutetaan lämmön avulla kaustisoinnissa uudelleen käytettäväksi kalsiumoksidiksi (AEL 2015).



**Kuva 9.** Meesanpolitto (muokattu AEL 2015)

Meesa on kalsiumkarbonaatin ja veden seos, joka on kosteudesta riippuen enemmän tai vähemmän lietemäistä. Meesa siirretään uuniin meesasuodattimelta, jossa se kuivataan mahdollisimman kuivaksi meesauunin tehokkaan lämmönkäytön takaamiseksi.

Meesauunin rakenne on sylinterimäinen tiilillä vuorattu teräsrakenne, joka on hieman kalteva. Meesauuni on tuettu kannatusrenkaiden välityksellä kannatusrullastoihin pituussuunnassa. Meesaa syötetään uuniin sisään sen yläpäästä kahta eri reittiä. Kosteampi meesa, joka ei ole savukaasuvirtauksen mukana noussut sykloniin tippuu suoraan uunin syöttöpäähän. Kuiva meesapöly puolestaan putoaa suoraan uuniin syöttöpäädyn syöttösiipien jälkeen. Uunin yläpäästä syötetty meesa valuu uunin pyörimisestä johtuen hiljaa kohti uunin alapäätä. Uunin tyypillinen pyörimisnopeus on 0,5-1,5 kierrosta minuutissa.

Uunin alapäässä on poltin, jonka polttoaineena käytetään pääasiallisesti maakaasua, öljyä tai mäntyöljyä. Uunin polttovyöhykkeeseen on muurattu kynnyks, joka vastustaa kalkin virtausta jolloin seinämälle muodostuvasta kalkkipatjasta kalkki tippuu ritiläholkkien lävitse sektorijäähdyttimeen.

Jäähdytyksen jälkeen kalkki jaotellaan karkeaan ja hienojakoiseen kalkkiin. Karkeampi kalkki menee kalkkimurskaimen läpi ja siitä edelleen kalkkikuljettimelle, kun hienompi jae menee suoraan kalkkikuljettimelle. Kuljettimella kalkki viedään meesakalkkisiiloon, josta sitä voidaan käyttää kaustisointiin. (AEL 2015)

## 5. ANALYYSIN TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi projektin aikana tehdyt toimenpiteet vaihe vaiheelta. Kuten tavoitteena on, koko projekti keskittyy suurimmaksi osaksi luodun RCM-työkalun ympärille. Kaikki vaiheet kohdealueen valintaa ja projektiryhmän kokoamista lukuun ottamatta on toteutettu työkalua apuna käyttäen.

### 5.1 RCM-työkalu

Diplomityön tavoitteena on luoda toimintasuunnitelma ja -ohjeistus ennakko- ja huollon toteuttamisesta talteenottolinjan alueella. Jotta ennakko- ja huoltosuunnitelman luominen myöhemmin sellutehtaan muille osastoille ja mahdollisesti muille tehtaille olisi mahdollisimman yksinkertaista ja tehokasta, on RCM-prosessin vaiheiden kokoaminen yhdeksi selkeäksi kokonaisuudeksi erityisen tärkeää.

Näiden kriteerien perusteella kaikkia RCM-prosessin vaiheita varten rakennettiin erillinen työkalu ja ohjeistus jokaisen vaiheen suorituksesta. Lähtötiedoikseen työkalu tarvitsee:

- Piirikohtaisen kriittisyysluokittelun, UPM-mallin mukaisine kriittisyyskomponentteineen
- Listauksen kohdealueen kenttälaitteista automaatiopiiri- tai laitekohtaisesti
- Vika- ja vaikutusanalyysien tulokset kohdealueen kenttälaitteiden osalta

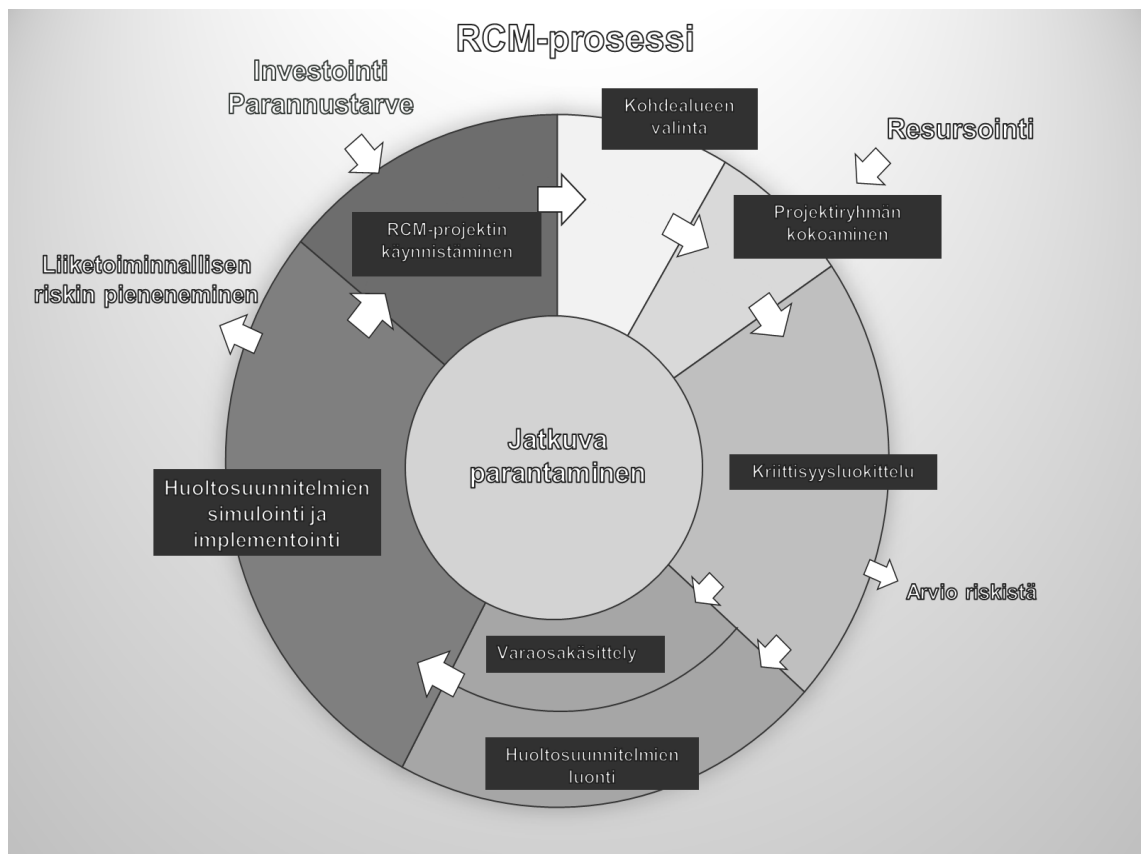
Näiden lähtötietojen avulla voidaan mille tahansa alueelle rakentaa pohja ennakko- ja huoltosuunnitelmalle. Tuloksena saadaan ennakko- ja huoltotoimenpidelistauksen lisäksi karkeat riskinarviot jokaisen piirin vikaantumisesta kriittisyysluokittelun tuloksien avulla.

Työkalun käyttö mahdollistaa kriittisyysluokittelutulosten vertailun eri osastojen tai jopa eri tehtaiden välillä. Toinen merkittävä hyöty on se, että analyysi suoritetaan aina samalla tavoin systemaattisesti. Sen myötä saadaan eliminoitua erilaisten käsittelytapojen tuomat eroavaisuudet analyysin suorituksessa. Työkalua käyttääkseen henkilöllä ei tarvitse olla laajaa pohjatietämystä RCM-metodista, vaan projektin vetäjän tiedot kasvavat projektin suorittamisen myötä. Olisi kuitenkin hyvä, että projektin etenemistä valvoisi henkilö, jolla on laajempi tietämys RCM:stä. Näin voidaan varmistua siitä, että tulokset ovat vertailukelpoisia. Valmiin työkalun käytöllä vältetään erillisten taulukoiden täyttämistä ja niiden yhdistämisestä. Näin säästetään huomattavasti aikaa.

Osastolta toiselle siirryttäessä analyysin kohteeksi tulee uudentyyppisiä kenttälaitteita, joten työkalua on kehitettävä jatkuvasti. Kenttälaitteiden vika- ja vaikutusanalyysikirjasto kasvaa sitä mukaa, kun uusia laitteita tulee käsittelyn kohteeksi.

## 5.2 RCM-analyysin vaiheet

RCM-prosessi käynnistetään aina parannustarpeesta tai investoinnin myötä. Prosessin käynnistyminen vaatii siis aina ulkoisen herätteen. Mikäli kyse on vain muutamasta kohde-alueesta, voidaan analyysi suorittaa kevyesti muutaman henkilön voimin, mutta mikäli kohdealue on laajempi, vaatii se oman projektin. Projektilla täytyy olla asiaan riittävästi perehtynyt vetäjä, joka varmistaa prosessin etenemisen luodun ohjeistuksen mukaisesti.



**Kuva 10.**RCM-prosessikaavio

RCM-prosessi voidaan jakaa kuuteen pääkohtaan, jotka ovat esitettyinä kuvassa 10:

1. Kohdealueen määrittäminen
2. RCM-projektiryhmän kokoaminen
3. Kriittisyysluokittelu
4. Varaosakäsittely
5. Huoltosuunnitelmien luominen
6. Huoltosuunnitelmien simulointi ja implementointi

RCM-prosessin eri vaiheet poikkeavat toisistaan ajallisesti. Tämän vuoksi on tärkeää, että vaiheita suoritetaan mahdollisuuksien mukaan samanaikaisesti. Päällekkäisen työskenteilyn avulla voidaan prosessin läpimenoaikaa pienentää huomattavasti.

Ajankäytöllisesti automaatiopiirien kriittisyysluokittelu on laajin osaprosessi. Se sitoo projektiryhmän jäseniä osallistumaan kriittisyysluokittelutilaisuuksiin. Kaikki jatkotoimenpiteet perustuvat sen antamiin tuloksiin, joten se on suoritettava kokonaisuudessaan, jotta muut vaiheet voidaan suorittaa loppuun. Vika- ja vaikutusanalyysi voidaan suorittaa kriittisyysluokittelun ohella, mikäli kohdealueella on joitakin sellaisia kohteita tai laitteita, joille ei VVA:ta ole vielä suoritettu. Projektin edetessä osastolta toiselle, kertyy erilaisten laitteiden VVA:sta kirjasto, jonka myötä jokaisella alueella ei tarvitse käydä jokaista laitetta yhtä tarkasti läpi.

Varaosakäsittely jakautuu vielä useampaan eri toimenpiteeseen, joista kerrotaan lisää luvussa 7. Huoltosuunnitelmien luonti perustuu juuri kohdealueen piirien kriittisyysluokkiin ja niiden alle sidottujen kenttälaitteiden vika- ja vaikutusanalyysien tuloksiin.

RCM-prosessin käyttö noudattaa jatkuvan parantamisen periaatteita. Mikäli prosessissa tai sen laitteissa tapahtuu muutoksia pitkällä aikavälillä, syntyy jälleen tarve parantaa kunnossapidon ja ennakkohuollon tehokkuutta. Sen myötä RCM-prosessi käynnistetään jälleen. Näin tehdään myös investoinneissa tuleville uusille laitteille.

### 5.3 Analyysin kohdealueen määrittäminen

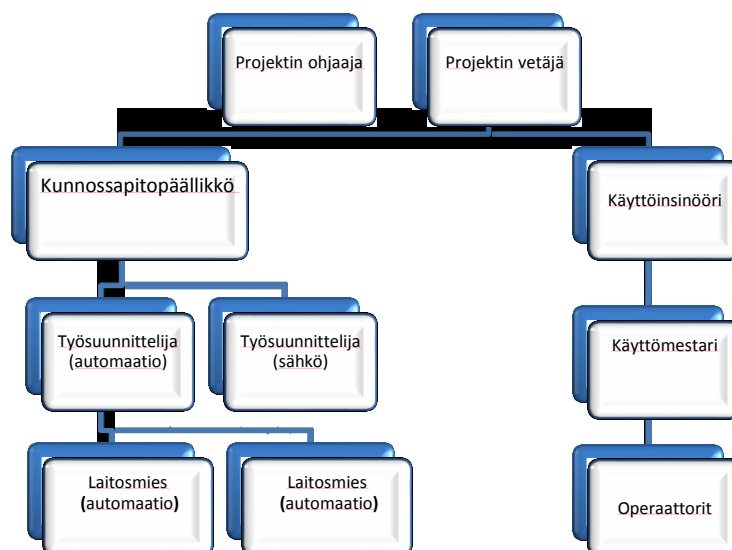
Projektin alussa määritettiin RCM-analyysin kohdealueeksi Kaukaan sellutehtaan talteenottolinja, johon kuuluvat osaprosessit ovat haihduttamo, soodakattila, kaustistamo, meesauuni, syöttövesilaitos, mäntyöljylaitos, hajukaasukattila ja apukattilalaitos. Alue valittiin sillä perusteella, että talteenottolinja on analysoitu RCM:n avulla mekaanisten laitteiden osalta. Kun analyysi suoritetaan sähkö- ja automaatiolaitteille, on talteenottolinja käsitelty kokonaisuudessaan. Tämän seurauksena RCM:n vaikutuksia voidaan verrata muihin osastoihin, joilla RCM-analyysiä ei ole vielä suoritettu. Alueen ennakkohuollon ja vikaantumisiin varautuminen olivat todettu olevan myös riittämättömällä tasolla tarkkuudeltaan, joka puolsi myös alueen valintaa analyysin kohteeksi.

Talteenottolinjaa voidaan pitää myös yhtenä kriittisimmistä osaprosesseista sellutehtaalla. Ilman keittokemikaalien talteenottoa ja höyryn tuotantoa, eivät muut osastot pysty toimimaan normaalisti.



## 5.4 RCM-projektiryhmän kokoaminen

Henkilöstön mahdollisimman hyvän sitoutumisen vuoksi RCM-ryhmä koottiin sekä kunnossapito- että käyttöhenkilöstöstä. Mukana oli alueen käyttöinsinööri, käyttömestari, kunnossapitomestari, alueen automaatioasentajat ja satunnaisesti myös prosessioperaattoreita. Kuvassa 11 on esitetty RCM-työryhmän organisaatiokaavio.



**Kuva 11.** RCM-työryhmän organisaatiokaavio

Kun henkilöitä otetaan jokaisesta työntekijäryhmästä, saadaan koko RCM-ryhmä sitoutettua paremmin projektiin. Näin kaikki ovat saaneet mielipiteensä kuuluville ja sen myötä kiinnostus ja sitoutuminen projektia kohtaan kasvavat.

## 5.5 Historiatietojen keruu

Laitteiden historiatietojen keruu tapahtui hakemalla SAP-toiminnanohjausjärjestelmästä alueen laitteille kohdennettuja vikailmoituksia, työmääräyksiä ja huoltosuunnitelmia. Tietoja saatiin myös alueen kunnossapitohenkilökunnalta. Automaatiolaitteiden vikaantumishistorian keruu on huomattavasti haastavampaa kuin mekaanisten laitteiden. Tämä on seurausta siitä, että osa vikailmoituksista kohdistetaan mekaaniselle toimintopaikalle suuremmille laitekokonaisuuksille, eikä itse automaatiopiirille.

Historiatietoja kerätessä huomattiin, että huoltosuunnitelmien toteuttaminen oli valitettavasti jäänyt puolitiehen. Huoltosuunnitelmat oli luotu järjestelmään ja osa oli päivitetty Kannisen (2013) työn myötä. Töiden kirjauksesta kuitenkin huomattiin, että alkuinnostuksen jälkeen työt olivat jääneet roikkumaan järjestelmään. Tämä tuli ilmi, kun työn suunniteltujen ajankohtien ja toteutuneiden ajankohtien välillä oli huomattavia eroja.

Historiadatan puutteesta johtuen laitteiden vikaantumisista ei saatu selkeitä kvantitatiivisia lukuja kuten MTBF tai MTTR. Näin ollen laitteiden vikaantumisvälit arvioitiin kohdealueen työnjohtajan ja asentajien kokemuksiin perustuen.

## 5.6 Automaatiopiirien kriittisyysluokittelu

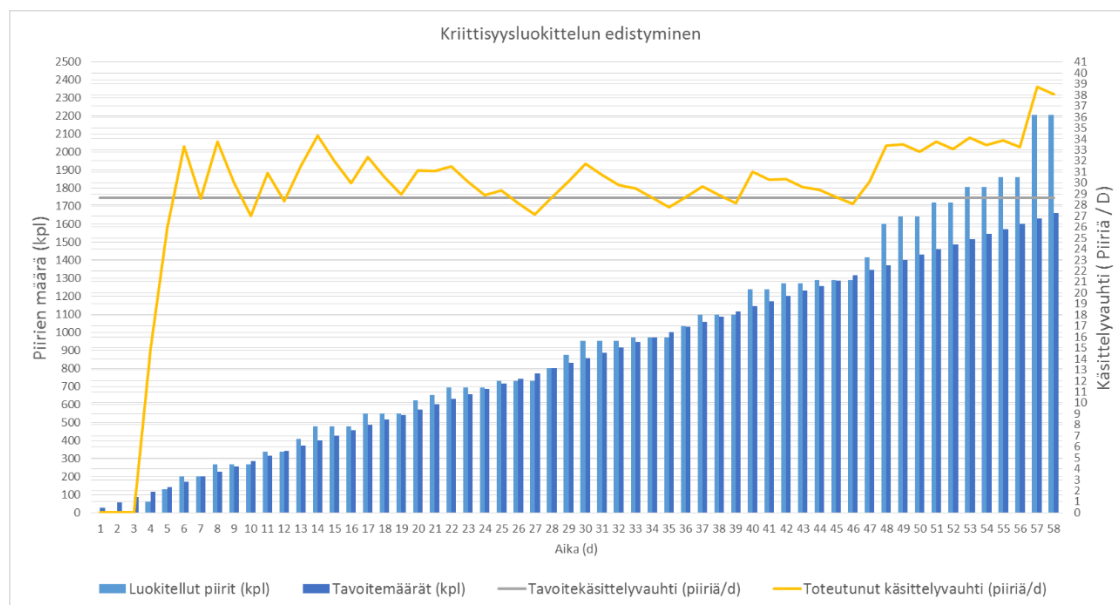
Seuraavana prosessikaaviossa on kriittisyysluokittelu. Kanninen (2013) kehitti mekaanisen kunnossapidon kriittisyysluokittelumallin PSK 6800 standardin pohjalta UPM:lle paremmin soveltuvaksi. Mekaanisten ja automaatiolaitteiden välillä oli huomattu kuitenkin huomattavia eroavaisuuksia ja sen takia kriittisyysmallia päätettiin muokata automaatiolaitteille paremmin soveltuvaksi, kuten luvussa 3 on kuvattu.

Molempia kriittisyysluokittelumalleja kokeiltiin muutamien automaatiopiirien kanssa projektiryhmässä. Tämän kokeilun perusteella uusi automaatiolaitteiden luokitteluun räätälöity malli toimi paremmin kuin vanha. Luokittelu päätettiin käynnistää uutta mallia hyödyntämällä.

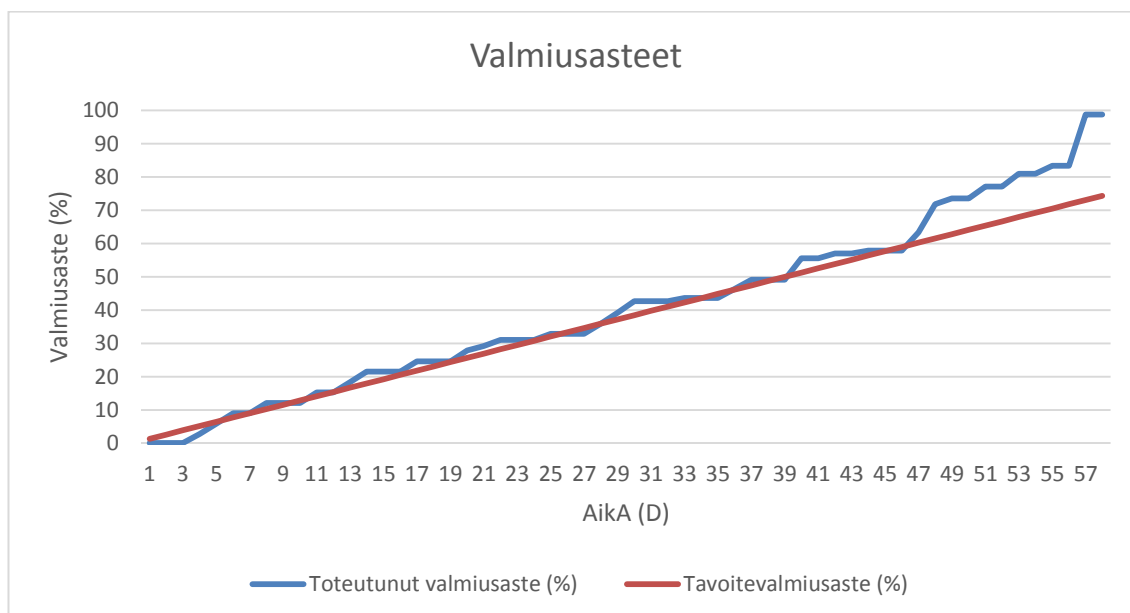
### Luokittelu ja tulokset

Kriittisyysluokittelut päätettiin suorittaa erikseen pidettävissä tilaisuuksissa, johon osallistui henkilöitä kohdealueen käyttö- ja kunnossapito-organisaatioista. Tämä koettiin kaikkein tehokkaimmaksi tavaksi luokitella alueen automaatiopiirit niin, että tulokset ovat laadullisesti kunnossa. Näitä kriittisyysluokittelutilaisuuksia pyrittiin pitämään kolme tuntia viikossa, joka perustui siihen että tehtaan operatiivista henkilöstöä ei sidotaisi liiaksi projektiin.

Erikseen pidettävinä palaverina suoritettu kriittisyysluokittelu toi mukanaan myös aikataulullisia haasteita, jotka olivat odotettavissa projektin alkaessa. Projektiryhmän kokoon saaminen osoittautui ajoittain hankalaksi, joka aiheutui prosessihäiriöistä tehtaalla. Nämä prosessihäiriöt aiheuttivat kunnossapidollisia tai prosessiteknisia ongelmia, jotka sitoivat operatiivista henkilöstä. Projektin aikataulua suunniteltaessa tämä tulee huomioida, jottei aikataulussa jäädä jälkeen. Tässä projektissa aikatauluun oli jätetty riittävästi tilaa, joka auttoi aikataulussa pysymiseen. Kuvista 12 ja 13 voidaan nähdä kriittisyysluokittelun etenemä projektin aikana.



**Kuva 12.** Kriittisyysluokittelun edistyminen talteenottolinjalla



**Kuva 13.** Kriittisyysluokittelun valmiusaste

Kriittisyysluokittelun etenemistä seurattiin viikkotasolla, jotta oli mahdollista mitata aikaa, joka luokitteluun kului. Piirien käsittelyvauhti tuntia kohden oli noin 70 piiriä.

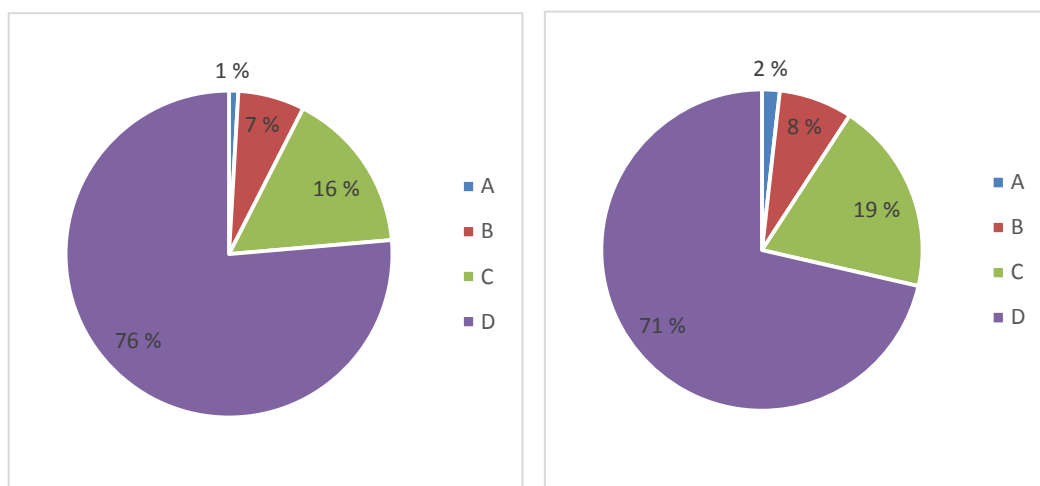
Piirien käsittelyvauhti käytännössä vaihteli kuitenkin suuresti. Vauhtiin vaikuttivat piirien tyypit, joita luokiteltiin. Esimerkiksi jos luokittelutilaisuuteen sattui huomattava määrä informatiivisia mittauksia, jotka ryhmä suoraan osasi luokitella matalaan kriittisyysluokkaan, oli luokitteluvauhti huomattavasti suurempi. Jos kuitenkin kohdalle osui piirejä, joiden vikaantumisen vaikutuksia jouduttiin pohtimaan pidempään, käsittelyvauhti hidastui.

Kriittisyysluokittelu pyrittiin kuitenkin pitämään sellaisella tasolla, ettei kaikkein epätoennäköisimpiä vikaantumistilanteita otettu huomioon kuten esimerkiksi kolmen erillisen mittauksen samanaikainen vikaantuminen.

### Kriittisyysluokittelun tulokset

Kriittisyysluokittelua oli talteenoton alueella testattu aiemmin perustuen mekaaniseen kriittisyysluokittelumalliin. Näitä luokitteluja ei kuitenkaan ole tehty projektiryhmän kesken kuten tässä projektissa. Kriittisyysluokittelu oli tehty yhden henkilön voimin, jolloin ei kaikkien osapuolten mielipiteitä otettu huomioon. Alle on kerätty kriittisyysluokittelun tulokset sekä uuden, että vanhan mallin mukaan tehtynä.

Kuten alla olevista kuvista huomataan, vaikuttavat painotukset jonkin verran luokittelun tuloksiin.



**Kuva 14.** Talteenottolinjan vanhat kriittisyysluokat

Kuten huomataan, kriittisyysluokittelun tulokset mukailevat osittain mekaanisen puolen tuloksia. Muutosta ei kuitenkaan tullut juurikaan aikaisemmin tehtyyn kriittisyysluokitteluun, joka oli tehty mekaanisen mallin pohjalta. Muutos oli kuitenkin sen suuntaista, että kohteiden kriittisyysluokat laskivat. Tämä tukee aikaisempia tuloksia siitä, että kohteiden vikaantumisten vaikutuksia ei ole mietitty tarpeeksi ja niitä on liioiteltu joissakin kohteissa. Tuloksista tutkimalla varmistuttiin myös siitä, että instrumenttilaitteiden arviointia ei voi suorittaa samojen kriteereiden perusteella kuin mekaanisten laitteiden.

Kriittisyysluokittelusta luotiin myös ohjeistus, jotta luokittelun tulokset vastaisivat toisiinsa jokaisella osastolla. Koko kriittisyysluokittelun lähtökohtana oli se, että käyttövarmuuden on pysyttävä samana jokaisena vuorokauden aikana jokaisena viikonpäivänä. Toisin sanoen laitteen vikaantumisen vaikutuksien arvioinnissa on otettava huomioon se, että vikaantuminen voi tapahtua virka-aikana tai viikonloppuyönä, jolloin töissä on vain

yksi vuoroasentaja. Tämä oletus johti siihen, että kohteiden saamat kriittisyysluokat saattoivat nousta hieman, kun otettiin huomioon viikonloppuna tapahtuvien vikaantumisten korjausten mahdolliset vasteajat.

## 5.7 Laitekuvausten harmonisointi

Kuten luvussa 3 mainittiin, kriittisyysluokittelun kohdesysteemiksi valittiin yksittäinen automaatiopiiri ja sen myötä arvioitiin mitä vaikutuksia piirin vikaantumisella mahdollisesti on. Koska automaatiopiiriin kuuluu useampia laitteita, on pureuduttava niiden vikaantumisiin ja niiden ehkäisemiseen.

Jotta vika- ja vaikutusanalyysyjä voidaan suorittaa, on tiedettävä millaisia kenttälaitteita kussakin automaatiopiirissä on. Kenttälaitelistat kerättiin suunnittelujärjestelmästä kohdealueen osalta. Kenttälaitteiden tietoja on koottu suunnittelujärjestelmään vaihtelevasti. Tietoa löytyy muun muassa mahdollisesta putkikoosta, paineluokasta, valmistusmateriaalista, viritysalueesta, valmistajasta ja mallista. Kenttälaitteiden kuvaukset saattavat poiketa toisistaan huomattavasti, sillä ne ovat suunnittelijan itse määrittämiä. Alueella on saattanut olla monta eri projektia, joissa jokaisessa on ollut eri suunnittelijat. Tästä seuraa se, että samaa perustyyppiä oleva laite on lisätty järjestelmään usealla eri tarkkuudella ja nimityksellä. Toinen suunnittelija on saattanut lisätä kenttälaitteen kuvaukseen sellaisia lisäosia, jolla ei ole tässä yhteydessä merkitystä.

Kenttälaittekuvaukset päädyttiin harmonisoimaan sellaiselle tasolle, jolla oli merkitystä laitteen toiminnallisuudelle ja vika- ja vaikutusanalyysin suorittamiselle. Kenttälaittekuvausten harmonisointi mahdollistaa RCM-työkalun tehokkaan käytön niin, että suuria määriä kenttälaitteita on mahdollista käsitellä samanaikaisesti.

**Taulukko 5.** *Kenttälaittekuvausten harmonisointi*

KENTTÄLAITTEEN KUVAUS	HARMONISOITU KUVAUS
SÄTEILYLÄHDE, SUOJUS JA VAROITUSKILPI	SÄTEILYLÄHDE
TUIKELASKIJAILMAISIN	ILMAISIN
PT100 LÄMPÖTILA-ANTURI DIN 43765 FORM D3	LÄMPÖTILA-ANTURI
PT100 LÄMPÖTILALÄHETIN	LÄMPÖTILALÄHETIN
Q-KALOTTIVENTTIILI	SEGMENTTIVENTTIILI
PAINELÄHETIN	PAINELÄHETIN
REFRAKTOMETRI+ASENN.VENTTIILI	REFRAKTOMETRI
RAJA-ARVOYKSIKKÖ+RELEKANTA KAHDELLA RAJAKYTKIMELLÄ	RAJAKYTKIN
Q-PALLOVENTTIILI	PALLOVENTTIILI
5/2-TIEMAGNEETTIVENTTIILI KURISTIN AUKI JA KIINNI	MAGNEETTIVENTTIILI
PALLOVENTTIILI	PALLOVENTTIILI
PAINELÄHETIN+PASVE	PAINELÄHETIN
PINTAKYTKIN	SÄTEILYLÄHDE
TUIKELASKIJAILMAISIN	ILMAISIN

Harmonisoidut kenttälaittekuvaukset mahdollistavat työkalun automatisoinnin. Harmonisoidun kuvauksen perusteella työkalu merkitsee kyseiselle laitteelle ominaiset vikaantumismenetelmät taulukkoon. Mahdolliseen suositeltavaan ennakkohuoltotoimenpiteeseen vaikuttaa myös tietyn tyyppisissä laitteissa sen läpi virtaava aine.

Venttiilien ja magneettisen virtausantureiden kuluminen on riippuvaista niiden läpi virtaavasta aineesta. Kaukaalla on tunnistettu, että joitakin virtausmittausputkia joudutaan vaihtamaan todella usein virtaavan aineen kuluttavuuden johdosta. Tämän takia kaikkia A-kriittisiä virtausmittausputkia ei kannata vaihtaa, sillä putki, jonka läpi virtaa vain vettä kestää huomattavasti kauemmin kuin putki, jonka läpi virtaa esimerkiksi polttoliipeää (Haimi 2016).

## 5.8 Vika- ja vaikutusanalyysin suoritus

RCM-työkalu käyttää sopivien ennakkohuoltotoimenpiteiden määrittämiseen automaatiopiirin kriittisyysluokan lisäksi vika- ja vaikutusanalyysin tuloksia. Analyysin kohteena olevalla osastolla olevat laitteet on määritetty ja harmonisoitu suunnittelujärjestelmästä saadussa kenttälaitelistassa. Kuvassa 15 on esimerkki yhden laitteen vika- ja vaikutusanalyysistä.

Refraktometri					Syklisuositukset			
Toiminnallinen vika	Vika toiminto	Syy	Ehkäisevä toimenpide	Seisokkitarve	A	B	C	D
1. Mittaus näyttää väärin	1.1 Anturivika	1.1.1 Prisma likainen	Prisman tarkastus	Laite	1,5V.	1,5V.	3V.	3V.
		1.1.2 Prisma kulunut	Prisman vaihto	Laite	1,5V.	1,5V.	3V.	3V.
	1.2 Höyrypesu ei toimi	1.2.1 Höyrypesuventtiili tukossa	Höyrypesuventtiilin vaihto	Laite	3V.	3V.	6V.	6V.
		1.2.2 Höyrypesuventtiili tukossa	Höyrypesuventtiilin puhdistus		1,5V.	1,5V.	3V.	3V.
		1.2.3 Höyrysuodatin tukossa	Höyrysuodattimen vaihto	Laite	1,5V.	1,5V.	3V.	3V.
2. Ei mittaustulosta	2.1 Vahvistin ei löydä anturia	2.1.1 Viallinen kaapelointi	-	Laite	-	-	-	-
		2.1.2 Piirikorttivika	-	Laite	-	-	-	-

**Kuva 15.** Refraktometrin vika- ja vaikutusanalyysi

Vika- ja vaikutusanalyysi tehtiin jokaista harmonisoitua kenttälaitekuvausta vastaavalle laitteelle. Analyysin toteutus aloitettiin haastattelemalla alueen automaatioasentajia. Laitetyyppien toiminnalliset vikaantumiset saatiin kartoitettua näiden haastatteluiden ja laitteiden käyttöohjeiden avulla. Jokainen toiminnallinen vikaantuminen aiheutuu yhdestä tai useammasta vikaantumismuodosta, jotka analyysin edetessä tunnistettiin. Vikaantumisten syitä mietittiin asentajien avustuksella. Toiminnallisten vikaantumisten syiden selvittyä, mietittiin miten vikaantuminen voitaisiin estää. Jokaiselle vikaantumismuodolle pyrittiin löytämään siis ehkäisevä toimenpide. Ehkäiseviä toimenpiteitä mietittäessä hyödynnettiin jälleen alueen asentajien kokemusta ja tietotaitoa. Jokaiselle laitetypille ei kuitenkaan soveltuvaa ehkäisevää toimenpidettä löydetty. Näiden laitteiden tapauksessa kunnossapitostrategian valinnassa päädyttiin niin kutsuttuun RTF-strategiaan eli run-to-failure-strategiaan. RTF:ssä laitetta käytetään nimensä mukaisesti niin kauan kuin se vikaantuu. Tällaisten laitteiden kohdalla täytyy miettiä ennakkohuoltotoimenpiteen sijaan sitä, miten mahdolliseen vikaantumiseen varaudutaan ja kuinka vikaantumisen vaikutukset voidaan pitää mahdollisimman pieninä. Tällaisia varautumiskeinoja ovat muun muassa laitteen kahdentaminen, jotta toisen laitteen vikaantuessa piirin toiminnallisuus ei kärsi. Myös varmistamalla kyseisen laitteen varaosien tai itse varalaitteen varastointi on yksi tapa käsitellä RTF-laitteiden luotettavuuden parantamista.

Analyysi haluttiin tehdä kattavasti, mutta se pyrittiin pitämään myös sellaisella tasolla, että kaikkein todennäköisimmät vikaantumiset otetaan huomioon.

Suoritetuista vika- ja vaikutusanalyyseistä koottiin kirjasto, jonka tarkoituksena on nopeuttaa käsittelyä seuraavilla osastoilla. Sen avulla pyritään hyödyntämään laitteiden samankaltaisuuksia ajan säästämiseksi. Mikäli analyysissä noudatettaisiin klassisen RCM:n toimintatapoja, olisi vika- ja vaikutusanalyysi suoritettava kohdekohtaisesti. Tämä ei kuitenkaan suuren kokonaisuuden takia ole järkevää ajallisesti. Kaikkein kriittisimpien kohdeiden kohdalla voidaan tarkastelu tehdä yksityiskohtaisemmin..

Laitteen vika- ja vaikutusanalyysin yhteydessä kirjattiin suositukset ennakkohuoltotoimenpiteiden suoritussykleistä. Näin ennakkohuoltotoimenpiteitä voidaan kohdistaa niin, että tärkeitä laitteita huolletaan useammin ja varmistetaan niiden moitteeton toimintakunto, kun taas ei-kriittisten laitteiden kohdalla suoritussykliä voidaan pidentää huomattavasti lähtötasoon nähden. Suoritussykliä voidaan hakea ohjearvoja valmistajien julkaisuista. Näitä ohjesyklejä voidaan tarkentaa kunnossapitohenkilöiden kokemuksiin perustuen, koska laitteet sijaitsevat erilaisissa ympäristöissä ja ne ovat kosketuksessa erilaisten aineiden kanssa. Jotkut laitteet saattavat kestää vikaantumatta huomattavasti kauemmin kuin sellaiset, jotka ovat kuluttavammassa ympäristössä.

Tarkoituksena on, että tulevaisuudessa näitä suoritussyklejä tarkastellaan ajoittain ja niitä korjataan, mikäli huomataan, että sykliä voidaan muuttaa tiuhemmaksi tai harvemmaksi. Näin haarukoimalla saadaan ajan kuluessa laitteen ennakkohuolto mahdollisimman kustannustehokkaaksi.

## 5.9 Vikaantumisen riskien kartoitus

Vikaantumisen riskin kartoitus tehtiin luvussa 3 kuvatun riskinarviomatriisin avulla. Huoltotoimenpiteistä päätettäessä tämä taloudellisen riskin arvio auttoi perustelemaan huoltotoimenpidettä.

### Esimerkki case: Säästöventtiilipaketin vaihto

Riskien pienentämistä voidaan havainnollistaa oheisen esimerkki casen avulla. Ensimmäisessä tapauksessa kohteen ennakoivaa kunnossapitoa ei ole suunniteltu, eikä varauduttu laitteen vikaantumiseen muilla keinoilla. Jälkimmäisessä tapauksessa kohde on ennakoivan kunnossapidon piirissä kunnonvalvonnan avulla ja vikaantuminen pystytään estämään ennakoidusti. Käytetyt kustannukset ovat suuntaa-antavia esimerkkisummia.

Venttiilin vikaantumisesta johtuva suunnittelematon venttiilin vaihto viikonloppuna:

#### **Tuotannon menetys:**

- Tuotannon menetys 18h, menetetty liikevaihto 12600

#### **Korjauskustannukset:**

- Teline- ja eristetyöt, 1500
- Mekaaniset asennukset ylitöinä 8h, 700
- Automaatioasennukset ylitöinä 8h, 350
- Varaosat 3000

#### **Epäkäytettävyyuskustannukset yhteensä 18150**

Ennakoitu venttiilin vaihto vuosihuoltoseisokissa normaalina työaikana kunnonvalvontaan perustuen:

#### **Tuotannon menetys:**

- Ei vikaantumisesta johtuvaa tuotannonmenetystä

#### **Korjauskustannukset:**

- Teline- ja eristetyöt 750
- Mekaaninen asentajapari 6h, 300
- Instrumenttiasentaja 8h, 150
- Varaosat 3000

#### **Kustannukset yhteensä 4200**



Huoltosuunnitelmassa yhtenä suositeltuna ennakkohuoltotoimenpiteenä ovat kriittisimpien venttiileiden ennakkotarkastukset. Ennakkotarkastukset suoritetaan sopivassa osasto- tai vuosihuoltoseisokissa suunnitellusti.

Ennakkotarkastuksen kustannukset

**Tuotannon menetys:**

- Ei vikaantumisesta johtuvaa tuotannonmenetystä

**Tarkastuskustannukset**

- Teline- ja eristetyöt, 750
- Mekaaniset asennukset normaalina työaikana, 300
- Automaatioasennukset normaalina työaikana, 150

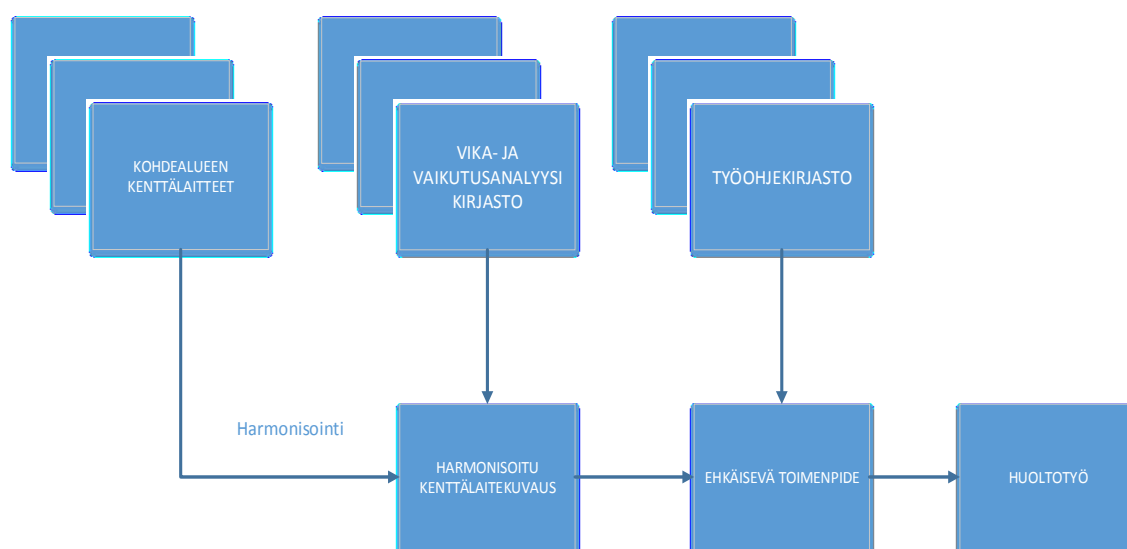
**Ennakkotarkastuksen kustannukset yhteensä 1200**

Kuten esitetyistä suuntaa antavista laskelmista nähdään, on tarkastuskustannusten ja vikaantumisesta johtuvien kustannusten suhde noin 1:15. Eli yhden venttiilin vikaantumisen kustannuksilla venttiili tarkastetaan viisitoista kertaa. Kuitenkin on otettava huomioon se, että venttiileiden jatkuva tarkastaminen on turhaa, mikäli niiden kunnon heikkenemisestä ei ole minkäänlaista varmuutta.

Riskinarvio laskettiin jokaiselle automaatiopiirille riskinarviomatriisin avulla. Näin piirit on mahdollista järjestää niiden vikaantumisten aiheuttamien kustannusten mukaan järjestykseen.

## **5.10 Lopullisten ennakkohuoltotoimenpiteiden päättäminen**

RCM-prosessin viimeisenä vaiheena on itse ennakkohuoltotyötilausten määrittäminen ja lopullisten päätösten tekeminen niiden suorituksesta. Työkalun tuottamat ennakkohuoltotyölistaukset helpottavat tätä työtä huomattavasti. Sen avulla työt voidaan järjestellä työpisteittäin ja suoritettavan työtehtävän mukaan. Näin niistä voidaan kasata kokonaisuuksia kyseisen alueen asentajalle suoritettavaksi. Kuvassa 16 on kuvattu ennakkohuoltotöiden muodostusprosessi.



**Kuva 16.** Ennakkohuoltotöiden muodostuminen

Ennakkohuoltotöitä on kahta erilaista tyyppiä; kierrostöitä ja yksittäiseen kohteeseen kohdistuvia ennakkohuoltotöitä. Kierrostyöt pitävät sisällään usean samanlaisen laitteen huollon tai tarkastuksen. Kierrostyö pitää sisällään usean eri kohteen huollon tai tarkastuksen, mutta ne on kuitenkin tarkoitus suorittaa yhtenä kokonaisuutena.

JOHTOKYKYMITTAUSTEN TARKASTUS HAIHDUTTAMO					
PIIRI	PIIRIN NIMITYS	Kriittisyysluokka	Riski	Seisokkitarve	Sykli
KAU1=23 5151 Q004	HAIHDUTINYKSIKÖN 4 JOHTOKYKY	D	10000	1	1V.
KAU1=23 5151 Q011	HAIHDUTINYKSIKÖN 1E JOHTOKYKY	D	10000	1	1V.
KAU1=23 5151 Q012	HAIHDUTINYKSIKÖN 1D JOHTOKYKY	D	10000	1	1V.

**Kuva 17.** Esimerkki kierrostyöstä

Yksittäiset huoltotyöt ovat joillekin tietyille kohteille suoritettavia töitä, jotka ovat ainutlaatuisia. Toinen syy yksittäiseen huoltotyöhön pääymiseen on se, että kyseisen kohteen huollosta pitää jäädä yksilöivä merkintä järjestelmään, kuten esimerkiksi säteilylähteen vuositarkastuksesta. Työt voidaan jakaa myös käynnin aikana suoritettaviin töihin ja töihin, jotka vaativat huoltoseisokin. Huoltoseisokin vaativat työt otetaan huomioon, kun suunnitellaan ennakkohuoltotyön aikataulutusta.

Yhtenä tärkeänä asiana huoltotoimenpiteiden määrittämisessä pidettiin kunnollisten työohjeiden kirjaamista järjestelmään. Tavoitteena oli, että jokaiselle ennakkohuoltotyölle tulee työohje, jonka mukaan perehdytetty henkilö pystyy kyseisen työn tekemään. Näin luodaan varmuutta sille, että työ tulee tehdyksi.

Tämän diplomityön myötä otettiin käyttöön myös Hännisen (2013) opinnäytetyössä tehdyt pienjännitejärjestelmien ennakkohuoltosuunnitelmat. Huoltosuunnitelmat sisälsivät seuraavat huoltotyöt:

- Pienjännitekatkaisijoiden lämpökuvaukset ja huollot
- Keskusten suojareleistyksien koestukset
- Poistumistievalaistuksien tarkastukset ja koestukset
- Lentoestevalaistuksen huolto
- ATEX-tilojen sähkölaitetarkastukset

Työt oli suunniteltu standardeihin perustuen ja niiden ohjeistukset olivat riittävällä tasolla. Näitä huoltosuunnitelmia ei kuitenkaan ollut käynnistetty. Ne kirjattiin toiminnan-ohjausjärjestelmään ja käynnistettiin niille määritellyin syklein.

## 6. VIRANOMAISMÄÄRÄYKSET

Kun sellutehtaan sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuoltoa suunnitellaan vikaantumisiin ja kohteiden kriittisyysluokitteluun perustuen, eivät viranomaisvaatimukset tule automaattisesti täytetyiksi. Tämän takia määräaikaishuollot ja -tarkastukset, jotka viranomainen vaatii suoritettavaksi, on käsiteltävä erikseen. Sähkönjakelun osalta tällaiset huoltotoimenpiteet on kartoitettu ja tämän työn puitteissa niitä vain sivutaan ja ne kasaataan automaation viranomaistarkastusten kanssa yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

Automaatiokunnossapidon ennakkohuollon yksi tärkeimmistä, ellei jopa tärkein osa-alue on viranomaistyöt. RCM-prosessin kannalta viranomaistyöt ovat hankalia, koska ne eivät välttämättä vaikuta tehtaan tuotantoon tai laitteiden turvallisuuteen. Koska PSK 6800-standardista sovellettu kriittisyysluokittelu, jota työssä käytettiin, määrittelee laitteen kriittisyyden vain tiettyjen komponenttien suhteen, ei se ota välttämättä huomioon viranomaisvaatimuksia kriittisyysluokissa. Koska kriittisyysluokka ohjaa voimakkaasti ennakkohuoltotöiden suoritussykliä, voi viranomaistöiden kohdalla tapahtua virheitä, mikäli niitä ei käsitellä erikseen. Kaikille viranomaisvaatimusten piirissä oleville kohteille määritettiin työssä kriittisyysluokka, mutta ne käytiin myös läpi erikseen. Näin voitiin varmistua siitä, että jokainen tarkastus suoritetaan sellaisella syklillä, että viranomaismääräykset täyttyvät.

Tässä luvussa käydään läpi osa viranomaistöistä, jotka tämän diplomityön myötä käytiin läpi. Kaikkien laitteiden osalta selvitettiin viranomaisen vaatimukset ja niiden perusteella suunniteltiin ne täyttävät huoltotyöt.

### 6.1 Säteilyturvallisuus

Prosessiteollisuudessa käytetään radioaktiiviseen säteilyyn perustuvaa mittauksia esimerkiksi hakkeen tai muun kiintoaineen pinnan mittaukseen tai tiheyden mittaukseen. Säteilylähteen käyttö vaatii kuitenkin erillisen luvan Säteilyturvakeskukselta.

Säteilytoiminnan harjoittaja on vastuussa säteilyn käytön turvallisuudesta sekä säteilylainsäädännön ja sen nojalla annettujen määräysten huolehtimisesta. Toiminnan harjoittajan on nimettävä käytännön tehtävät hoidettavaksi säteilyorganisaation mukaan (ST 1.4 2011).

## Velvollisuudet

Säteilyn käyttö edellyttää turvallisuuspäätöstä, joka puolestaan edellyttää vastaavan johtajan ja hänen sijaisensa nimeämisen. Mikäli vastaavan johtajan tehtävään tarvittavat edellytykset täyttyvät hyväksyy Säteilyturvakeskus yrityksen nimeämän henkilön vastaavaksi johtajaksi. (ST 1.4 2011)

Säteilyturvaohjeen 1.4 mukaan toiminnan harjoittajan on kirjallisesti määritettävä kirjallisesti vastaavan johtajan ja hänen sijaisensa tehtävät. Näitä tehtäviä ovat yleisesti toimintaan liittyvien riskien tunnistaminen, turvallisuusarviointi ja varautuminen poikkeustilanteisiin, Säteilyturvakeskuksen antamien korjausmääräysten toteuttamisen toimeenpano ja valvonta sekä tietojen ilmoittaminen Säteilyturvakeskukseen.

Säteilylähteiden tilaamista, vastaanottamista, luovuttamista ja siirtämistä varten on oltava määritellyt menettelyt, joilla varmistetaan, että kaikki nämä toimet tehdään säteilyn käytön turvallisuudesta vastaavan johtajan valvonnan alaisuudessa (ST 1.11 2013).

## Tarkastustoiminta

Toiminnanharjoittajan on säännöllisesti tarkistettava laitteiden paikat ja varmistettava, että kaikki hänen vastuullaan olevat säteilylähteet ja laitteet ovat tallessa ja asianmukaisessa kunnossa. Säteilysuojuksen sulkimien ja sulkimien asentoa osoittavien merkkivalojen toimintakunto on tarkastettava, ja havaitut viat on korjattava heti. Lisäksi on huolehdittava siitä, että laitteeseen kuuluvien kilpien tekstit ovat helposti luettavissa. Tarpeen vaatiessa kilvet on uusittava.

Korkea-aktiivisten säteilylähteiden (HASS) kohdalla on suoritettava pyyhintäkoe vuosittain, jotta voidaan varmistua, ettei säteilylähde vuoda ympäristöön. Pyyhintäkokeen tulokset on lähetettävä Säteilyturvakeskukseen.

Jos umpilähteen huomataan vuotavan, asiasta tulee ilmoittaa Säteilyturvakeskukselle viipymättä. Umpilähteen käyttöpaikalla on varmistettava, että vuotava lähde ei aiheuta vaaraa. (ST 5.1 2007)

## Määräaikaistarkastukset Kaukaalla

Säteilylähteitä on Kaukaan tehtailla useita, joten laitteiden tarkastukset on jaettu kunkin osaston automaatiokunnossapidon hoidettavaksi.

Säteilylähteiden tarkastuksista on tehty SAP-toiminnanohjausjärjestelmään määräaikaistyöt, jotka on ajoitettu tehtäviksi kerran vuodessa normaaleille säteilylähteille ja puolen vuoden välein HASS-lähteille eli korkea-aktiivisille lähteille.

Vuosittaiseen tai puolivuositaiseen tarkastukseen kuuluvat:

- Säteilylähteen silmämääräinen tarkastus vaurioiden varalta
- Sulkijan ja sulkijan merkkivalojen toiminnan tarkastus
- Varoituskyltit
- Varmistetaan ettei säteilylähde ole lukittu ”AUKI”-asentoon
- Tarkastetaan mekaaniset suojat eli ettei primäärikeilan väliin ole mahdollista laittaa kehon osaa

Vuositarkastusten lisäksi HASS-lähteille tehtävät pyyhintäkokeet suoritetaan kierroksina kerran vuodessa.

Jokaisen säteilylähteen vuositarkastukselle on oma työtilauksensa SAP-toiminnanohjausjärjestelmässä, jotta tarkastukset on helppo varmentaa tarvittaessa. Kun tarkastus on suoritettu, työ päätetään, jolloin se samalla kuittautuu tehdyksi. Suoritetuista tarkastuksista voidaan tarvittaessa ajaa järjestelmästä lista, josta ilmenee kaikki tarkastetut säteilylähteet halutulta aikaväliltä.

RCM-analyysin yhteydessä luotiin toiminnanohjausjärjestelmään säteilylähteiden vuosittainen tarkastusohjelma. Työt on ajoitettu avautuviksi aina vuoden alusta, jolloin on koko vuosi aikaa tarkastaa säteilylähteet. Tähän päädyttiin siitä syystä, että jotkut lähteet ovat sellaisissa paikoissa, ettei niihin ajon aikana ole mahdollista mennä tekemään vuositarkastusta. Kun työt avautuvat heti alkuvuodesta, on mahdollista sopivan tuotannon pysäytyksen yhteydessä tehdä vuositarkastus.

## 6.2 Turva-automaatio

Turva-automaatiojärjestelmällä tarkoitetaan prosessiautomaatiosta erillään toimivaa automaatiojärjestelmää, joka pysäyttää prosessin ja laitteen tai ohjaa sen vakavassa vaarassa tai häiriötilanteessa turvalliseen tilaan. Turva-automaatiojärjestelmä eli TAJ koostuu mitausantureista, logiikkaosasta, ohjattavista kohteista kuten venttiileistä ja moottoreista, ja näiden välisistä kaapeloinneista. (TUKES 2007, s. 4-15)

### Turva-automaatio järjestelmän vaatimukset

Turva-automaatiojärjestelmälle on asetettu useita vaatimuksia, jotta toiminnallinen turvallisuus olisi riittävä. Turva-automaatiolle asetettuja vaatimuksia ovat muun muassa:

- Turva-automaatiojärjestelmän täytyy olla käyttöautomaatiosta riippumaton
- Järjestelmän ja siihen liittyvien laitteiden turvallisuus, luotettavuus ja soveltuvuus kohteeseen on pystyttävä osoittamaan sekä arvioimaan
- Ensisijaisesti on käytettävä turvallisuuskäyttöön tyyppihyväksytyjä laitteita.
- Järjestelmä ei saa aiheuttaa prosessia tai turvallisuutta vaarantavia tarpeettomia pysäytyksiä tai alasajoja

- Laitteiden tulee olla mahdollisimman huoltovapaita ja helposti koestettavia ja huollettavia
- Häiriötilanteessa toimilaitteet jäävät tai ajautuvat ennalta määriteltyyn turvalliseen tilaan
- Prosessissa täytyy olla järjestelmästä riippumaton käsin pysäytyksen mahdollisuus
- Järjestelmän on toimittava riittävän suurella todennäköisyydellä virheettömästi myös sellaisessa vaaratilanteessa, joka voi sattua vain kerran laitoksen koko elinkaaren aikana
- Järjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon prosessin luonteen ja vaarallisuuden kannalta riittävä luotettavuus

Toiminnanharjoittajan on osoitettava määräajoin, että turva-automaatiojärjestelmä on varustettu riittävillä käyttöturvallisuuteen vaikuttavilla laitteilla ja järjestelmillä, jotka toimivat tarkoituksenmukaisesti. Myös käytönaikainen kunnossapito kuuluu toiminnanharjoittajan vastuulle. Mikäli halutaan tehdä muutoksia olemassa olevaan järjestelmään tai laitteisiin, on toiminnanharjoittajan varmistettava siitä, että muutokset täyttävät kaikki vaatimukset. Käytössä olevien järjestelmien kunnossapidon riittävyys ja asianmukaisuus on pystyttävä osoittamaan. (TUKES 2007 s.4-10)

## **Määräaikaistarkastukset ja dokumentointi**

Jokaiselle laitteelle, joka kuuluu turva-automaatiojärjestelmään on määritettävä määräaikaistarkastus- tai testausväli ja menetelmät, joilla pystytään ylläpitämään järjestelmän luotettavuus. Tarkastuksien ja korjausten tekemiseen on määritettävä vastuuhenkilöt.

Turvatekniikan keskus suorittaa tarkastuksia, joiden tarkoituksen on varmistaa laitteistojen tekninen turvallisuus ja luotettavuus. Painelaitteiden turva-automaatiojärjestelmien arvioiminen määräaikaistarkastuksissa kuuluu tarkastuslaitoksen tehtäviin. (TUKES 2007 s.9)

## **TAJ-testauksen Kaukaan sellutehtaalla**

Kaukaalla on useita painelaitteeksi rekisteröityjä kohteita, joissa on käytössä turva-automaatiojärjestelmä. Tällaisia ovat esimerkiksi kaikki tehdasalueella olevat kattilat. Näiden kohteiden TAJ-testaukset hoidetaan vuosihuoltoseisokeissa puolentoista vuoden välein. Alkutilanteessa TAJ-testauksia varten jokaisen alueen työnjohtajalla oli dokumentit tarkastuksien suorittamista varten.

Talteenoton alueen TAJ-testauksista päädyttiin tekemään ennakko- huoltosuunnitelma, jonka mukaan jokaisessa vuosihuoltoseisokissa testataan turva-automaatiojärjestelmät. Tavoitteena on, että paperisista dokumenteista päästäisiin eroon ja kaikki tarvittavat dokumentit talletettaisiin toiminnanohjausjärjestelmään, josta ne olisi helppo löytää tarvittaessa kenen tahansa.

Ennakkohuoltotyöt luotiin siten, että TAJ-testauksien ennakkohuoltotyö avautuu aina riittävän aikaisin ennen seisokkia, että resurssien varaaminen sujuu kiireettä ja riittävän ajoissa. Työlle liitettiin tarkastusohjeistus ja koestuspohja. Työt luotiin kohteittain niin, että jokaiselle työlle tulee kyseisen kohteen turva-automaatiojärjestelmään kuuluvat automaatiopiirit.

### **6.3 Kaasuilmaisimet**

Kaasuilmaisin on laite, jonka avulla voidaan havaita ilmassa olevia kaasuja. Kaasuilmaisimilla suojataan ympäristön lisäksi myös altistumisvaarassa olevien henkilöiden turvallisuutta. Viranomaisella on vaatimuksia kaasuilmaisimien käytöstä.

#### **Viranomaisvaatimukset**

Tuotantolaitoksen tiloissa ja alueilla, joissa voi onnettomuustilanteessa vuotaa sellaisia määriä ja pitoisuuksia vaarallista kemikaalia, että vuodosta voi olla seurauksena tulipalo, räjähdys taikka vaaraa terveydelle tai ympäristölle, on oltava vuodon tunnistavat ilmaisimet, jos vuotojen nopea havaitseminen muilla keinoin ei ole mahdollista. Myös kohteissa, joissa kemikaalin pääsy maaperään, vesistöön tai viemäriin voi aiheuttaa vaaraa, on oltava vuodonilmaisimet, jos vuotoja ei muuten voida havaita riittävän nopeasti. (856/2012 6 luku 72§)

Tilat ja alueet, joissa käsitellään välittömästi myrkyllisiä kaasuja (kategoria 1–3) sellaisessa laajuudessa, että niistä voi vuoto- tai muussa tilanteessa aiheutua välitöntä terveysvaaraa, on varustettava vuodoista hälyttävillä ja varoittavilla järjestelmillä, joista on järjestetty hälytys jatkuvasti valvottuun paikkaan. (856/2012 6 luku 72§)

Ilmaisimista tulee johtaa hälytykset siten, että vaaratilanteen vaatimiin onnettomuuden ehkäisy-, rajoitus- ja torjuntatoimiin voidaan ryhtyä viivytyksettä ja vaara-alueella olevia ihmisiä varoittaa tilanteesta. Ilmaisimien tulee hälyttää sekä paikallisesti että jatkuvasti valvotussa paikassa. Tarvittaessa hälytys on ohjattava myös hätäkeskukseen. (856/2012 6 luku 72§)

#### **Tarkastustoiminta Kaukaalla**

Kaukaalla käytetään kiinteitä kaasun ilmaisimia maakaasun ja rikkivedyn havaitsemiseen. Rikkivetyä esiintyy prosessiviemäreissä ja muissa painanteissa, koska se on raskeampaa kuin ilma. Maakaasua käytetään esimerkiksi meesauunin polttoaineena. Kaikkien sellutehtaan ilmaisimien määräaikaistarkastukset on keskitetty yhden henkilön vastuulle. Vastuuhenkilö suorittaa määräaikaistarkastukset huoltosuunnitelman mukaan osastoittain. (Haimi, 2016)



## 6.4 Päästömittaukset

Päästömittausten laadussapito on yksi tärkeimmistä automaatiokunnossapidon tehtävistä. Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittaja on velvollinen tarkkailemaan toiminnastaan aiheutuvia päästöjä. Päästöjen tarkkailu on kuitenkin tehdaskohtaista ja siitä päätetään kunkin tehtaan omassa ympäristöluvassa.

Kaukaan sellutehtaalla mitataan jatkuvatoimisesti savukaasuista typen oksideja, rikkidioksidia, TRS:ää (total reduced sulphur), hiukkaspitoisuutta ja savukaasujen määrää. Mittauksia suoritetaan soodakattilan, meesauunin, hajukaasukattilan, apukattiloiden savukaasuista. (Sokkanen, 2016)

### Viranomaisvaatimukset

Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittaja on velvoitettu tarkkailemaan toiminnastaan aiheutuvia päästöjä. Toiminnan valvontaviranomaisena toimii ELY-keskus ja kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Valvonnalla pyritään varmistamaan ympäristöluvan ehtojen noudattaminen. Toiminnanharjoittaja on myös velvollinen lähettämään raporteja valvontaviranomaiselle laitoksen päästöistä. (Ojanen 2011, s.37–38)

### Päästömittausten huolto Kaukaalla

Analysaattorit vaativat paljon huomiota ja huoltoa. Päästömittausten huolto on erityisen tärkeää, koska ympäristöluvan mukaan päästömittaukset saavat olla poissa toiminnasta enintään 10 vuorokauden ajan vuodessa

Analysaattoreiden ennakkohuoltotyö suoritetaan kuukauden syklillä ja se kirjattu toiminnanohjausjärjestelmään. Tehtaalla on yksi automaatioasentaja, joka tämän huollon tekee. Ongelmaksi tässä muodostuu juuri se, ettei tätä yhtä automaatioasentajaa lukuun ottamatta kukaan suorita kyseisiä huoltotoimenpiteitä, vaikka tämä olisi estynyt tekemään huoltoa. Riittävän ohjeistuksen puuttuessa joudutaan turvautumaan analysaattorin toimittajan huoltoon, joka on huomattavasti kalliimpaa kuin omalla työvoimalla tehty huoltotyö.

Ongelman korjaamiseksi toiminnanohjausjärjestelmään kirjatut ennakkohuoltotyöt käytiin läpi niitä suorittavan asentajan kanssa. Tuloksena saatiin kattava toimintaohje, jonka perusteella perehdytetty henkilö pystyy suorittamaan analysaattorin kuukausittaisen ennakkohuollon. Työohjeisiin sisällytettiin jokainen työvaihe ja huoltotyössä tarvittavat varaosanimikkeet.

Analysaattoreiden huoltoon sisältyy erinäisten suodattimien puhdistusta ja vaihtoa niiden likaantuessa, analysaattorin toiminnan silmämääräistä tarkastusta ja tarvittaessa analysaattori kalibroidaan testikaasujen avulla. (Sokkanen 2016)

## 7. HUOLTOSUUNNITELMIEN LAATIMINEN

Kun jokaiselle laitteelle on suunniteltu soveltuva ennakkohuoltotoimenpide, on seuraava vaihe kirjata kyseiset huoltosuunnitelmat toiminnanohjausjärjestelmään. UPM:llä käytetään toiminnanohjaus- eli ERP-järjestelmänä SAP:ia. Sen kautta hoidetaan kaikki kunnossapitoon liittyvät toimenpiteet aina vikailmoituksen luomisesta varaosien varaamiseen asti.

### 7.1 SAP – toiminnanohjausjärjestelmä

SAP on toiminnanohjausjärjestelmä eli ERP (enterprise resource planning), jonka tarkoituksena on yhdistää ihmisiä ja teknologiaa saumattomasti, jotta prosessit toimisivat paremmin ja ihmisten elämä olisi parempaa (SAP, 2017). Kunnossapito-organisaatio hyödyntää toiminnanohjausjärjestelmää halutun toiminnallisuuden saavuttamiseksi. Tämä työkalu on hyödyllinen kuitenkin vasta kun sitä käytetään tarkoitettulla tavalla tehokkaasti. (Järviö 2007, s.219–221)

Toiminnanohjausjärjestelmän toiminnallisuuksia ovat muun muassa:

- Toimintopaikkojen ja automaatiopiirien perustiedot
- Materiaalinhallinta, eli varaosien hallinta
- Vikailmoitusjärjestelmä
- Työtilausjärjestelmä
- Ennakkohuoltojärjestelmä
- Dokumenttien hallinta

Toiminnanohjausjärjestelmän käytössä on haasteita, jotka johtuvat sitä käyttävistä henkilöiden sitouttamisen puutteesta. Jotkut asentajat ja toimihenkilöt käyttävät järjestelmää tehokkaasti, kun taas jotkut välttävät järjestelmän käyttöä. Suurin haaste on siis sitouttaa henkilöstö paremmin toiminnanohjausjärjestelmän käyttöön.

#### **Laitehierarkia**

Laitehierarkian tavoitteena on muodostaa selkeä rakenne laitteiden paikoista, joka helpottaa laitteen löytämistä järjestelmästä vaikkei laitteen tunnusta tarkasti tiedettäisikään. Laitehierarkia voidaan muodostaa esimerkiksi prosessin mukaan PI-kaavion avulla. (Järviö 2007, s.224)

Kaukaalla laitteet on jaettu kolmeen eri kategoriaan, jotka ovat prosessilaitteet, sähkölaitteet ja automaatiolaitteet. Jokaisella kategorialla on oma hierarkiensa toiminnanohjausjärjestelmässä. Hierarkia muodostuu siten, että laitteet on jaettu osaprosesseittain sähkö- tai automaatiopiireihin. Alimmalla tasolla piiritunnuksen alla ovat yksittäiset komponentit.

### **Varaosien hallinta**

Toiminnanohjausjärjestelmää käytetään myös materiaalin eli kunnossapidon tapauksessa varaosien hallinnointiin (Järviö 2007, s.229). Laitteille on luotu yksilöivä nimikenumero järjestelmään, jonka avulla tietyn tyyppistä laitetta voidaan hallinnoida helpommin. Järjestelmään on syötetty laitteen perustietoja kuten valmistaja, malli, valmistusmateriaali ja toimittaja.

Myös varaosien varastointitietoja ylläpidetään samassa järjestelmässä. Näin varaosan sijainti suuressa keskusvarastossa voidaan tarkastaa suoraan järjestelmästä.

### **Vikailmoitus- ja työtilausjärjestelmä**

Kaikki kunnossapitotöihin liittyvät tehtävät hoidetaan järjestelmän kautta (Järviö 2007, s.231). Laitteen vikaantuessa vikaantumisen huomannut henkilö tekee vikailmoituksen järjestelmään, josta kunnossapidon työnjohtaja ottaa sen käsittelyyn ja muuttaa sen työtilaukseksi.

Työtilaus suunnitellaan ja sille varataan tarvittavat resurssit ja mahdolliset varaosat työnjohtajan tai työnsuunnittelijan toimesta. Työn etenemistä on mahdollista seurata järjestelmästä työlle leimattujen työtuntien kautta.

Vikailmoitusten ja työtilausten kohdistaminen oikeille automaatiopositioille on erityisen tärkeää, jotta järjestelmään jää arvokasta historiatietoa laitteen vikaantumisista. Vikaantumishistorian kautta voidaan mahdollisesti päästä tunnistamaan tiuhempaa ennakkohuoltotarvetta.

### **Ennakkohuoltojärjestelmä**

Toiminnanohjausjärjestelmä sisältää myös ennakkohuoltotöiden luonti- ja aikataulutustyökalut. Ennakkohuoltotöitä on mahdollista luoda järjestelmään siten, että ne avautuvat määrätyin syklein ilman työnsuunnittelun tarvetta. Tämä luo järjestelmällisyyttä ennakkohuoltoon ja varmistaa töiden oikean aikataulutuksen (Järviö 2007, s.233).

Ennakkohuoltotyöt on mahdollista määrittää niin, että ne avautuvat aina samaan vuoden aikaan huolimatta siitä, onko edellisen vuoden työ suoritettu. Vastaavasti mikäli kunnossapidettava kohde on sellainen, jossa halutaan, että sykli alkaa edellisen työn valmistuttua, valitaan järjestelmästä tähän tarkoitukseen oma parametrinsa ”vahvistuspakko”.

Ennakkohuoltotöille määritetään suoritusohje, jonka perusteella kenen vain on mahdollista suorittaa määrätty työtehtävä. Tämä lisää joustavuutta, mikäli työn normaalisti suorittava henkilö on estynyt suorittamaan kyseistä tehtävää. Näin toinen henkilö voi suorittaa työn hyvän ohjeistuksen avulla.

## **Dokumenttien hallinta**

Toiminnanohjausjärjestelmässä toteutettavien töiden ja ennakkohuollon dokumentit voidaan tallettaa myös järjestelmään (Järviö 2007, s.241). Esimerkiksi työn suoritusohjeet, koestuspohjat ja raportit suoritetuista tarkastuksista syötetään sähköisesti järjestelmään, josta ne ovat helposti saatavilla.

## **7.2 Huoltosuunnitelmien luonti**

Koko RCM-prosessi tähtää ennakkohuoltosuunnitelmaan, joka varmistaa kohdealueen laitteiden toimintavarmuuden mahdollisimman pienillä kustannuksilla. RCM-työkalun antamista piirikohtaisista ennakkohuoltotyöehdotuksista koottiin sopivan kokoisia huoltotyöpaketteja, joiden suorittaminen on mielekästä yhdellä kertaa. Jokaisen piirin kohdalla mietittiin, että sopisiko piirin huoltamiseen parhaiten esimerkiksi kuntoon perustuva toimenpide, aikaan perustuva toimenpide vaiiko kunnonvalvonta.

Toiminnanohjausjärjestelmä mahdollistaa rakenteeltaan ja toiminnallisuudeltaan erilaisien ennakkohuoltotöiden luomisen. Työt voidaan jaotella kierrosluontoisiin töihin ja yksittäisiin huoltotöihin. Kierrosluontoisten töiden tarkoituksena on, että samanlaiset työtehtävät, kuten esimerkiksi samanlaisten mittausten tarkastukset ja kalibroinnit suoritetaan kaikki kerralla. Automaatiopiirikohtaiset työt ovat yleisesti työläämpiä tai sellaisia, että ne ovat poikkeuksellisia järjestelyineen.

SAP:in huoltosuunnitelmat toimivat siten, että järjestelmään luodaan yksi huoltorivi, joka vastaa työtilausta. Huoltoriville täydennetään samat tiedot kuin työtilaukselle. Huoltosuunnitelmalle määritetään kuitenkin myös sykli, jolla se avaa huoltorivin mukaisen työtilauksen valmiiksi suunniteltuna. Huoltosuunnitelman kohteen kriittisyysluokka ohjaa syklin pituutta, eli kriittisempää kohdetta huolletaan huomattavasti useammin kuin vähemmän kriittistä kohdetta.

Venttiileiden tarkastukset voivat olla joko aikaan perustuvaa kunnossapitoa, jossa venttiili irrotetaan prosessista ja tarkastetaan sen kunto tai kunnonvalvontaan perustuvaa kunnonvalvontaohjelmiston ja älykkään asennoittimen avulla.

### 7.3 Huoltosuunnitelmien ajoitus

Huoltosuunnitelman ajoitukseen on SAP:ssa erilaisia parametreja, joiden avulla voidaan vaikuttaa huoltosuunnitelman avaamien työtilauksien avautumiseen. Joidenkin töiden kohdalla on toivottavaa, että työtilaus avautuu huomattavasti aikaisemmin ennen sen suunniteltua suorittamispäivää, koska työtilaukselle halutaan mahdollisesti tilata ulkopuolinen toimittaja suorittamaan kyseinen huoltotyö. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi vuosihoitoseisokeissa suoritettavat taajuusmuuttajien määräaikaishuollot. Työtilauksen avautumiseen käytetään SAP:n avaushorisontti-parametria, jonka avulla määritetään prosenttiosuus huoltosuunnitelman syklistä, jossa kohtaa työtilauksen halutaan avautuvan. Työn avautuminen ennen suunniteltua päivää voidaan laskea seuraavasti:

$$\text{Työtilauksen avautumispäivä} = \text{Avautumishorisontti (\%)} \cdot \text{Huoltosuunnitelman sykli (7)}$$

Eli mikäli yhden vuoden syklin omaavan työn halutaan avautuvan kolme kuukautta ennen suunniteltua päivää, on avaushorisontiksi määritettävä 75 %.

Huoltosuunn.	H.suunn.teksti	Avaushorisontti	Kutsuväli	Kväli.Yks
500000031269	RADIOMETR.MIT. PARISTOJEN VAIHTO SK3	098	4	V.
500000031278	TURVALUKITUSTEN MA-TESTAUS, HAIHDUTTAMO	050	18	KK.
500000031279	JOHTOKYKYMITTAUSTEN TARKASTUS, KAME (1V)	090	365	P.
500000031289	PH-MITTAUSTEN TARKASTUS, HAIHD. (6KK.)	090	6	KK.
500000031290	TURVALUKITUSTEN MA-TESTAUS, MEESAUUNI	050	18	KK.
500000031291	SUOJARELEIDEN TARKASTUKSET, KAME (1V.)	090	365	P.

**Kuva 18.** Esimerkkejä huoltosuunnitelmien ajoituksesta

Toinen tärkeä SAP:n parametri on vahvistuspakko, jolla voidaan määritellä työn avautuminen niin, että vasta kun työ on päätetty, uusi sykli alkaa. Mikäli kyseistä ominaisuutta ei käytetä, alkaa sykli aina samaan aikaan joka vuosi vaikka laite huollettaisiin 2 kuukautta myöhemmin kuin alun perin on suunniteltu. Vahvistuspakolla varmistetaan siis se, että kyseinen huoltotyön suoritusrytmeissä otetaan huomioon mahdolliset viivästykset.

### Seisokkityöt

Venttiileiden ja magneettisten virtausmittausputkien vaihto- ja tarkastustyöt vaativat melko usein kyseisen osaston laajuisen seisokin. Koska diplomityön kohdealueena on talteenotto, vaikuttaa sen pysähtyminen usein koko sellutehtaan toimintaan. Tämän takia tällaisen vaihto- ja tarkastustyöt suoritetaan puolentoista vuoden välein pidettävissä vuosihoitoseisokeissa suunnitellusti. Juuri seisokkityöt ovat töitä, jotka halutaan avautumaan hyvissä ajoin ennen seisokkia, jotta työ- ja materiaalityötilaukset on mahdollista hoitaa mahdollisimman hyvissä ajoin. Seisokkiin suunniteltujen ennakko- ja huoltotöiden avaushorisontiksi määriteltiin 66 % eli seisokkityöt avautuvat puoli vuotta ennen suorituspäivää.

Venttiileiden ja magneettisten virtausmittausputkien tarkastukset ja vaihdot ovat hyviä esimerkkejä seisokissa toteutettavista töistä. Niiden irrottaminen putkilinjasta vaatii prosessin pysäyttämisen ja turvallistamisen.

Magneettisten virtausmittausputkien tarkastus ja vaihtotöistä rakennettiin huoltopaketit, jotka määrittävät mitkä mittaukset huolletaan missäkin seisokissa. Mikäli talteenoton mittauksista tarkastetaan tai huolletaan aina puolet jokaisessa seisokissa, on kriittisten putkien tarkastusväli kolme vuotta. Näin työkuormaa jaetaan useamman seisokin ajalle, jottei töiden suorittamisessa tule kiire yhden vuosihuoltoseisokin aikana.

## **Käynnin aikana suoritettavat työt**

### **Samaan vuodenaikaan suoritettavat ennakkohuoltotyöt**

Ennakkohuoltotöistä jotkut vaativat sen, että ne suoritetaan määrättyinä vuodenaikana joka vuosi. Tällaiset tarkat suoritusajankohdat otettiin huomioon, kun huoltosuunnitelmia kirjattiin toiminnanohjausjärjestelmään.

Ennalta määritettyyn vuodenaikaan suoritettavien töiden kohdalla vahvistuspakkoa ei käytetty, vaan työ avautuu jokaisena vuonna samaan aikaan huolimatta siitä, onko edellisen vuoden työtä suoritettu. Tällä varmistetaan se, että työ avautuu aina oikeaan aikaan ja muistuttaa työnjohtajaa siitä, että työ tulisi suorittaa. Mikäli käytettäisiin vahvistuspakkoa, saattaisi työn ajankohta siirtyä niin, ettei ajankohta olisi enää tarkoituksenmukainen.

Tällaisia töitä ovat esimerkiksi korkea-aktiivisille säteilylähteille suoritettavat pyyhintäkokeet tammi-helmikuun aikana ja sähkösaattojärjestelmän huolto syksyisin.

### **Kiinteän suoritusvälin työt**

Jotkut ennakkohuoltotöistä ovat sellaisia, jotka on parempi toteuttaa käyttämällä vahvistuspakkoa. Tällaisia töitä ovat aikaan perustuvat ehkäisevät kunnossapitotyöt. Esimerkkinä tällaisesta aikaan perustuvasta työstä on pH-antureiden tarkastukset ja tarvittaessa kalibroinnit. Tarkastukset ja kalibroinnit suoritetaan mittauspiirin kriittisyysluokan määrittämien syklien välein. Kun työn hallintaan käytetään vahvistuspakkoa, nähdään tarkalleen, milloin antureiden näyttämät on tarkastettu. Mikäli alkaa näyttää siltä, että tietyn anturin tarkastus sykli on liian tiheä, voidaan näiden tarkastustöiden perusteella todeta, ettei kyseinen anturi tarvitse niin usein tarkastusta ja sykliä voidaan kasvattaa.

## **Työkuorman jakaminen**

Koska automaatiokunnossapidon henkilöstön määrä on pienentynyt viime vuosikymmenien aikana reilusti, on ennakkohuoltotöiden tekijöitä entistä vähemmän. Ennakkohuoltotöiden aikataulutus nousee tärkeäksi osaksi suunnittelua. Mikäli ennakkohuoltotyöt ajoitetaan huonosti ja töitä avautuu yhden asentajan alueelle liian paljon päällekkäin, on

vaarana, että asentaja ei ehdi tekemään töitä suunnitellulla viikolla. Tämä voi johtaa ennakko- huoltotöiden kasautumiseen.

Töiden aikataulutus hoidettiin niin, että eri syklin omaavia huoltotöitä jaettiin viikkotasolla koko vuodelle niin, ettei yhdelle viikolle tulisi liian montaa ennakko- huoltotyötä asentajakohtaisesti.

## 7.4 Huoltosuunnitelmien muutokset

RCM-prosessin tuloksena tapahtuvat muutokset ennakko- huoltotöissä jakautuvat kolmeen kategoriaan; uusiin, poistettaviin ja uudelleen määriteltäviin huoltosuunnitelmiin. (Smith, 2004, s. 57–69)

Ennen RCM-prosessia talteenottolinjan ennakko- huoltorivejä oli yhteensä 163 kappaletta, joista jokaisesta aukesi työtilaus. RCM-analyysin jälkeen huoltorivejä jäi jäljelle enää noin 100 kappaletta. Koska RCM-metodiikka edellyttää, että jokaisen ennakko- huoltotyön on oltava toteutettavissa ja sen on oltava tehokas, poistettiin tähän perustuen kaikki tehotomat ja epäkäytännölliset ennakko- huoltosuunnitelmat.

Näissä sadassa jäljelle jääneessä huoltorivissä on kuitenkin myös sellaisia ennakko- huoltotöitä, jotka RCM-prosessin myötä on luotu järjestelmään. Uusien huoltosuunnitelmien luomiseen liittyy myös tapaukset, jossa vanhoja huoltosuunnitelmia määriteltiin uudelleen poistamalla vanha ja luomalla uusi suunnitelma. Syy tähän oli se, että vaikka vanhat huoltosuunnitelmat saattoivat toimenpiteiltään olla oikein, mutta kohdistus, ajoitus tai suoritussykli saattoivat olla vääriä. Huomattiin myös, että joidenkin huoltosuunnitelmien kohteiden laitteet olivat vaihtuneet toisen tyyppisiin ja näin ollen suoritettava ennakko- huoltotoimenpide oli väärä.

## 8. VARAOSIEN HALLINTA

Työn edetessä huomattiin, että automaatiolaitteiden vikaantuminen ei ole aina helppoa huomata etukäteen. Koska tavoitteena on laitteiden luotettavuuden parantaminen ja sen myötä tehtaan käytettävyyden kasvattaminen, on tällaisten laitteiden vikaantumisiin varauduttava muilla keinoin. Ainoa tapa lyhentää vikaantumisesta aiheutuvaa tuotannon pysähdystä on varmistaa, että vikaantuneelle laitteelle löytyy tarvittavat varaosat mahdollisimman nopeasti. Tästä syystä tässä työssä päätettiin tarkastaa kaikkein kriittisimpien kohteiden osaluettelot ja kartoittaa niistä mahdollisesti löytyviä puutteita.

Varaosien kartoituslaajuutta mietittäessä, päädyttiin hyödyntämään aiemmin projektissa tehtyä kriittisyysluokittelua. Varaosakäsittely rajattiin koskemaan vain A- ja B-kriittisiä kohteita. Kriittisyysluokittelun avulla voitiin priorisoida kohteet, joiden varaosat ovat tuotannon kannalta kaikkein tärkeimpiä.

Tähän asti toiminnanohjausjärjestelmässä olevien osaluetteloiden varaosatieidot ovat enemmän tai vähemmän vanhentuneita. Syynä tähän voidaan pitää resurssien vähene mistä töiden suunnittelussa. Toimintamallin mukaan työnjohtajan tulisi laitteen vaihtu-essa korjata uuden laitteen tiedot toiminnanohjausjärjestelmään. Näin ei kuitenkaan aina tapahdu ja kentällä oleva laite ei aina vastaa järjestelmässä olevaa laitetta. Tästä on vuosien kuluessa seurannut se, että järjestelmässä oleviin tietoihin ei luoteta, vaan asia tarkastetaan fyysisesti kentältä. Tämä ei kuitenkaan ole tarkoituksen mukaista, joten varaosien kartoituksella pyritään tarkastamaan ja korjaamaan järjestelmätiedot vastaamaan kentällä olevia laitteita. Tavoite on siis, että kunnossapitäjät voisivat luottaa järjestelmässä olevaan tietoon. Näin saataisiin vikatilanteissa lyhennettyä epäkäytettävyyss aikaa, joka oikean varaosatieidon hankkimiseen kuluu.

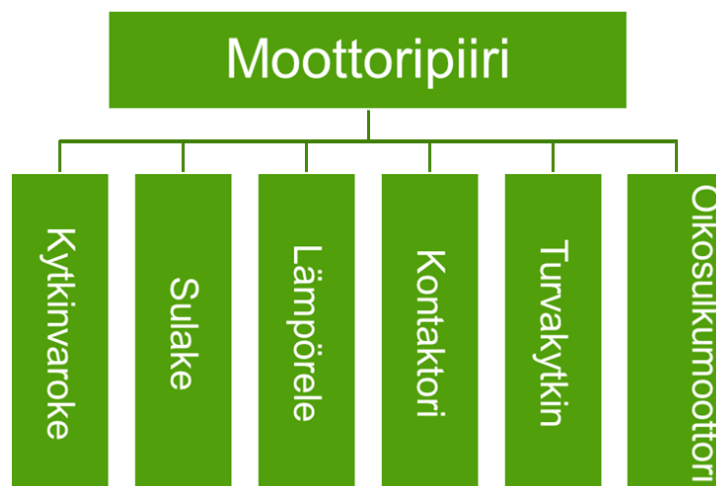
### 8.1 Lähtötilanteen kartoitus

Varaosakäsittely aloitettiin selvittämällä järjestelmän ajantasaisuus varaosien osalta. A- ja B-kriittisistä sähkö- ja automaatiopiirien varaosista listattiin ja huomattiin, että kohteille sidottujen varaosien määrä vaihteli suuresti. Joissakin piireissä varaosatieidot olivat tarkasti kaikista piiriin kuuluvista kenttälaitteista, kun taas joissakin tiedot olivat hyvin vajavaisia. Haastavaksi varaosakäsittelyn tekee se, että piirin varaosa saattaa olla erilainen suunnittelujärjestelmässä, piirikaaviossa ja kentällä. Näissä tilanteissa jouduttiin turvautumaan erilaisiin tietolähteisiin, joista käytössä olevan osan tiedot saatiin. Tällaisia tietolähteitä olivat muun muassa kokeneiden kunnossapitäjien tieto, kohteelle kohdistettujen työtilausten nimikkeet ja mahdollisuuksien mukaan kenttätarkastelu.



## 8.2 Varaosarakenteiden harmonisointi

Jotta varaosatietojen päivitys olisi systemaattista, kehitettiin erilaisille laitekokonaisuuksille varaosamallirakenteet. Varaosamallirakenteet toimivat minimivaatimuksena sille, mitä varaosatieta kyseisen laitekokonaisuustyypin alta tulee löytyä. Alla on esitetty suoran moottorikäytön varaosamallirakenne.



**Kuva 19.** Suoran moottorikäytön varaosamallirakenne

Mallirakenteen mukaisesti kaikkien suorien moottorikäyttöjen alta tulee projektin jälkeen löytyä kuvassa 19 esitetyt komponentit. Komponentit valikoituivat sillä perusteella, että tarvitaanko niitä. Mallirakenteisiin talletettiin sellaiset komponentit, jotka ovat kokonaisuuden toiminnan kannalta välttämättömiä. Mallirakenteista tehtiin ensin ehdotukset, jotka käytiin läpi sähkö- ja automaatiokunnossapidon työnohtajien ja insinöörien kanssa. Näin varmistettiin, ettei mallirakenteista jäänyt puuttumaan mitään tärkeitä komponentteja.

Erilaisten mallirakenteiden luominen instrumenttipiireille oli melko haastavaa, sillä niiden alle lukeutuu huomattava määrä erilaisia laitekombinaatioita. Rakenteet suunniteltiin kuitenkin sellaisiksi, että komponenttien kuvaukset pidettiin riittävän yleisellä tasolla, jotta mallirakenne kävisi mahdollisimman moneen eri kohteeseen.

## 8.3 Varaosien nimikointi

Uusien mallirakenteiden avulla jokaiselle piiritunnukselle valittiin soveltuva mallirakenne. Jokaisen komponentin kohdalle pyrittiin löytämään toiminnanohjausjärjestelmästä laitetta vastaava nimike.

Varaosan toimituksen vasteaikaa mietittäessä, on otettava huomioon useita eri tekijöitä, jotka vaikuttavat vasteajan pituuteen ja varaosan varastointiin. Varaosan toimitusaika on yksi tekijä, joka vaikuttaa siihen kannattaako varaosaa varastoida omassa varastossa vai

läheisessä toimittajan varastossa. Yleismallisia varaosia, kuten kontaktoreita ja lämpöreleitä on mahdollista saada pienellä toimitusajalla, kun taas erikoismateriaalista valmistettua säätöventtiiliä voi joutua odottamaan useita viikkoja. Tällainen venttiili kannattaa siis varastoida lähelle sen käyttöpaikkaa, mikäli se on A- tai B-kriittisyysluokan kohteessa.

Toinen piirikohtainen vaikuttava tekijä on aika, jossa prosessi on turvallistettu ja rikkoutunut laite on irrotettu prosessista. Mikäli turvallistaminen kestää useita tunteja, kuten esimerkiksi suuren säiliön tyhjennyksessä, ei uuden varaosalaitteen tarvitse olla puolessa tunnissa tehtaalla. Tällaisessa tilanteessa riittää, että venttiili on toimittajan varastossa ennalta määritetyn vasteajan päässä.

Kenttälaitteen vikaantumisen todennäköisyys vaikuttaa varaosan varastointiin. Automaatiopiirin eri komponenteilla on erilaiset todennäköisyydet vikaantua. Mikäli komponentin vikaantumisen riskin vaikutukset katsotaan pieniksi verrattuna varaosan varastoinnista aiheutuviin kustannuksiin, voidaan varaosa jättää hankkimatta omaan varastoon. Automaatiolaitteiden hankintakustannukset ovat kuitenkin yleensä huomattavasti pienemmät kuin niiden vikaantumisesta aiheutuvat laatu- tai tuotannon menetykset, joka on yksi peruste päätökselle hankkia varaosa omaan varastoon.

Vasteaikaan perustuva varaosakäsittely tukee myös ajatusta siitä, että laitteiden käyttövarmuuden tulisi olla samalla tasolla huolimatta vuorokaudenajasta tai viikonpäivästä. Lähtötilanteessa viikonloppuna tai yöllä tapahtuvan vikatilanteen korjaamiseen meni lähes poikkeuksetta enemmän aikaa kuin virka-aikaan tapahtuvan vikaantumisen korjaamiseen. Varaosakäsittelyn suorittamisen jälkeen odotetaan

Varaosavarastot pyritään pitämään mahdollisimman pieninä, jotta varastoon ei sitoutuisi turhaan pääomaa. Kriittisyysluokka ja automaatiopiirin riski ohjaavat varaosahankintoja niin, että tärkeiden laitteiden varaosat löytyisivät varastosta ja vähemmän tärkeät hankittaisiin vasta vikaantumisen ilmaannuttua.

## 8.4 Varaosakäsittely

Varaosien oikeanlainen varastointi on avainasemassa tehtaan toipumisessa vikatilanteesta. Kaikkein kriittisimmät laitteet eli sellaiset jotka vaikuttavat merkittävästi tehtaan tuotantoon tai lopputuotteen laatuun on oltava saatavissa tarpeeksi nopeasti, jotta välttäisiin suurilta taloudellisilta vaikutuksilta. Tässä diplomityössä keskityttiin selvittämään A- ja B-kriittisten sähkö- ja automaatiopiirien varaosien määrän ja varastoinnin lähtötilanne.

## **Varaosien hallinta Kaukaalla**

Kaukaan sellutehtaalla sähkö- ja automaatiolaitteiden varaosatietoja ja dokumentaatiota ylläpidetään suunnittelujärjestelmässä. Kenttälaitteen tyyppi ja nimike numero on tallennettu järjestelmään. Suunnittelujärjestelmästä ne siirtyvät suoraan SAP:iin. Jokaisen piirin alle on sidottu sen alta löytyvät komponentit. Alueiden työnjohtajia on ohjeistettu tekemään muutos suunnittelujärjestelmään, mikäli piirillä käytössä oleviin kenttälaitteisiin tulee muutoksia.

## **Osaluetteloiden lähtötilanteen selvitys**

Sähkö- ja automaatiopiirien osaluetteloiden ollessa kaikkea muuta kuin yhdenmukaiset, päätettiin ongelma korjata luokittelemalla piirit ja rakentamalla osaluettelon mallirakenne jokaiselle piirityypille. Piirityypeiksi määriteltiin esimerkiksi mittauspiiri, säätöpiiri, sulkuventtiilipiiri, suora moottorikäyttö ja taajuusmuuttajakäyttö. Jokaisen luokituksen alle kuuluvat erilaiset vakio-osat, jotka on löydyttävä toiminnanohjausjärjestelmän osaluettelosta. Mallirakenteen tarkoitus on yhdenmukaistaa piirien osaluetteloja ja varaosatietoja. Esimerkki moottoripiirin varaosamallirakenteesta on esitetty kuvassa 22.

Tarkoituksena on, että kriittisimpien piirien varaosatieidot olisivat täysin mallirakenteen mukaiset ja varaosien varastointipaikat olisi käyty läpi ja suunniteltu niin, että vasteaika-vaatimukset täyttyvät. Vähemmän kriittisten piirien varaosakäsittely jätetään karkeammalle tasolle kuin edellisten. Niiden osalta varaosarakenteen on oltava kunnossa, mutta varastointimäärien ja varastointipaikkojen suunnittelu ei ole niin tarkkaa kuin kriittisimpien piirien kohdalla.

## **Varaosatietojen täydentäminen**

Koska suuressa osassa piireistä varaosatieidot eivät täsmänneet luodun varaosamallin kanssa, jouduttiin ne täydentämään piirikaavioiden ja kenttätietojen perusteella. Laitteet, joiden nimikenumeroa ei järjestelmästä löytynyt, etsittiin oikea nimike ja sen varastointietot. Joidenkin kenttälaitteiden kohdalla ei ollut tietoa edes laitetyyppistä ja näitä tietoja joudutaan etsimään piirikaavioista ja piireille kohdistetuista työtilauksista.

Osa piireille sidotuista kenttälaitteista oli kuitenkin alkuperäisiä nimikkeitä 90-luvun alun projektin jäljiltä. Koska tällaisia laitteita ei enää valmisteta, täytyy piirit, joille kyseiset laitteet on sidottu, suunnitella uudelleen.

## **Varastointipaikkojen ja saldojen selvittäminen**

Jotta päästäisiin selville siitä kuinka paljon varaosia on todellisuudessa saatavilla tehtaalla, selvitettiin varaosien varastointipaikat ja saldot. Aikaisemmin järjestelmään ei ole talletettu kaikkea varaosatietoa ja se johti siihen, että vikaantumisen sattuessa varaosaa

lähdettiin etsimään suoraan keskusvarastosta, koska ei voitu luottaa SAP:n antamaan tietoon. Tämä aiheuttaa vian korjaamisen viivästymisen, joka voitaisiin välttää jos SAP:ssa olevat tiedot olisivat ajan tasalla ja oikein. Tärkeää on myös se, että järjestelmää käyttävät henkilöt on perehdytetty hakemaan tietoa varaosien sijainnista.

Varaosien varastopaikkoja luokiteltiin neljään eri kategoriaan eli sellaisiin varaosiin, jotka löytyvät Kaukaalta, muilta Suomen tehtailta löytyviin varaosiin, toimittajan varastosta löytyviin varaosiin ja sellaisiin osiin, joita ei löydy mistään näistä.

Varaosan varastointipaikan katsottiin olevan kunnossa A- ja B-kriittisten osien kohdalla, mikäli varaosa oli saatavilla omalta tehtaalta tai toimittajan varastosta. Varastointimäärien arvioimisen helpottamiseksi haettiin SAP:sta tieto siitä, kuinka monelle piirille kyseinen nimike on sidottu Kaukaalla. Käyttömääriä ja varastointimääriä vertaamalla voidaan miettiä sitä, että pitäisikö mahdollisesti varastossa olevan varaosan varastosaldoa kasvattaa. Yksi mahdollisuus on määrittää suhdeluku, joka ohjaa varaosan varastointimääriä. Kriittisyysluokka voisi olla myös yksi tekijä, joka määrittää tämän suhdeluvun. Esimerkiksi jokaista kymmentä A-kriittistä piiriä kohden varastoitaisiin yksi varaosa. Vastaavasti B-, C- ja D-kriittisillä piireillä suhdeluku olisi pienempi.

Tämän työn puitteissa ei kuitenkaan otettu kantaa siihen, kuinka monta kappaletta mitäkin varaosaa pitäisi varastoida. Todettiin, että varaosapuolen käsittely on suuri kokonaisuus, joka täytyy käsitellä yhteistyössä varaston kanssa.

### **Vaihtoehtoisen nimikkeet**

Koska Kaukaan sellutehdas on yli 50 vuotta vanha ja sitä on uusittu eri vuosikymmeninä, on sen laitekanta melko vaihtelevaa. Varaosakäsittelyn kannalta ongelmallista on, että joitakin käytössä olevia laitteita ei enää valmisteta. Joitakin vanhoja laitteita saatetaan vielä huoltaa, mutta huoltokustannukset ovat niin suuria, että uudenmallisen laitteen hankkiminen olisi myös tulevaisuutta ajatellen järkevämpää. Ongelman ratkaisemiseksi voidaan käyttää toiminnanohjausjärjestelmän nimikkeen rakennetta. SAP:ssa nimikkeen rakenteeseen on mahdollista syöttää vaihtoehtoinen nimike.

Tämä tarkoittaa, että nimikkeelle voidaan lisätä korvaavia nimikkeitä. Varaosakäsittelyn myötä jokaisella A- tai B-kriittisellä piirillä olevalle laitteelle määritettiin korvaava nimike, mikäli varaosaa ei ollut enää saatavilla. Kun nimikkeen rakenteeseen on lisätty vaihtoehtoinen nimike, se päivittyy kaikille automaatiopiireille, joille nimike on sidottu. Näin vikatilanteessa on helpompi selvittää, mikä osa käy vanhan tilalle.

## 9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tätä diplomityötä tehdessä huomattiin, että uuden toimintatavan käyttöönotto vaatii resursseja ja paljon aikaa. Pohjatyötä on tehtävä paljon, jotta jokaisen ennakkohuoltotyön suorittaminen voidaan perustella vika- ja vaikutusanalyysin sekä kriittisyysluokittelun avulla tarpeelliseksi. RCM-projekti on hyvin laaja kokonaisuus, joka koskettaa montaa eri ammattialaa. Erityisen tärkeässä roolissa on projektiryhmän suhtautuminen projektiin. Mikäli projekti nähdään hyödyllisenä ja kaikki ovat täysin sen takana, vaikuttaa se suuresti projektin etenemiseen etenkin kriittisyysluokittelun aikana.

Työn edetessä huomattiin myös, että automaatiolaitteiden vikaantumisia ei voida ennakoida yhtä helposti kuin mekaanisia vikaantumisia. Tästä syntyi tarve miettiä, miten automaatiolaitteiden vikaantumisiin varaudutaan. Varaosakäsittelylle luotiin tässä työssä suuntaviivoja, joita tulevaisuudessa tulisi seurata.

### 9.1 Seuraavat askeleet

Tämän työn jälkeen ennakkohuollon suunnittelua tulisi jatkaa, sillä työn aikana käsiteltiin vain yksi osaprosessikokonaisuus. Vika- ja vaikutusanalyysikirjastot kattavat vain yhden tehtaan talteenottolaitoksen kenttälaitteet.

Varaosa-analyysin huomattiin olevan oma suuri kokonaisuutensa, joten se päätettiin jättää työn ulkopuolelle. Varaosat olisi syytä kuitenkin kartoittaa ainakin kaikkein kriittisimmille piireille, joka diplomityön kohdealueelle tehtiinkin. Seuraava askel olisi keskustella varasto- ja kunnossapito-organisaation kesken miten paljon mitäkin varaosaa pidetään varastossa. Tavoitteena olisi kuitenkin se, että kaikkien A- ja B-kriittisten varaosien vasteaika olisi alle kolme tuntia. Jatkon kannalta olisi myös tärkeää, että vanhentuneiden laitteiden, joita ei enää valmisteta, vikaantumisten varalle olisi mietittynä suunnitelma, jottei laitteen vikaantuessa synny tarpeettomia epäkäytettävyyuskustannuksia. Varaosavarastoinnin optimointi on kuitenkin oma suuri kokonaisuutensa, jota ei tässä työssä pohdittu.

Tulevaisuudessa varaosien varastointia tulisi optimoida niin, että kaikkien Suomen tehtaiden epäkäytettävyyensaika minimoituisi. Tämä vaatii kuitenkin kaikkien osaluetteloiden päivityksen, jotta varaosien sidokset vastaavat todellisuutta. Nykyisellään osaluetteloiden data on sellaista, ettei sen perusteella ole mahdollista tällaista optimointia tehdä.

Myös kriittisimpien kohteiden varaosien kartoitusta ja varaosavaraston optimointia voidaan pitää seuraavana vaiheena tämän työn tuloksille. Tässä työssä ei otettu kantaa siihen, missä ja kuinka monta varaosaa tulisi varastoida. Suurin syy tälle on se, että kaikki muut sellutehtaan osastot jäivät tämän työn osalta luokittelematta ja kaikkein kriittisimpien kohteiden varaosat kartoittamatta. Tässä olisi tulevaisuudessa huomattavasti parantamisen varaa, mutta se vaatii myös suuren määrän työtä.

## 10. YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda toimintaohjeistus sähkö- ja automaatiolaitteiden ennakkohuollon suunnittelusta ja toteuttamisesta. Tähän tavoitteeseen päästiin ja saatiin luotua työkalu, jonka avulla ennakkohuollon suunnittelu on systemaattista ja helppoa toteuttaa myös muilla osastoilla. Tämän systemaattisen toimintatavan myötä tuotantolaitoksen käytettävyyden odotetaan kasvavan pitkällä aikavälillä.

RCM-projektin myötä sähkö- ja automaatiokunnossapidon ennakkohuoltotoiminta saatiin organisoitua huomattavasti paremmaksi kuin mitä se oli. Vanhoja tarpeettomia huoltosuunnitelmia saatiin karsittua ja päivitettyä vastaamaan laitteiden nykytilannetta. Myös viranomaisen vaatimat tarkastukset kirjattiin toiminnanohjausjärjestelmään ohjeistuksiin. Toinen merkittävä tulos projektilla oli suoritettu kriittisyysluokittelu, joka antaa mahdollisuuksia priorisoida talteenottolinjan laitteita muissakin yhteyksissä.

Koska laitteilla on jokin todennäköisyys vikaantua ennakkohuollosta huolimatta, oli myös kaikkein kriittisimpien kohteiden varaosatilanne kartoitettava, jotta tuotannon menetykset eivät kasvaisi varaosan puutteen takia. Työn myötä kartoitettiin talteenottolinjan A- ja B-kriittisten laitteiden varaosien varastotilanne ja varastointipaikat. Tarkempi varaosa-analyysi on kuitenkin suuri kokonaisuus, johon ei tässä työssä pureuduttu. Prosessin seuraava vaihe olisi siis päättää siitä, miten varaosia varastoidaan ja kuinka paljon.

Jotta RCM-analyysi koettaisiin uskottavaksi, on käsittelyn oltava systemaattista ja hyvin perusteltua. Huoltosuunnitelmat luotiin yhteistyössä alueen kunnossapitohenkilöstön kanssa ja ne katsottiin sellaisiksi, että niiden suorittaminen on järkevää. Pelkästään ennakkohuoltosuunnitelman luominen ja varaosien käsittely eivät kuitenkaan riitä, vaan kohdealueen kunnossapitohenkilöstön on sitouduttava noudattamaan rakennettua ennakkohuoltosuunnitelmaa. Ennakkohuoltotöiden suorittamista on myös valvottava, koska RCM-analyysin tulokset nähdään vasta pitkällä aikavälillä. Mikäli huoltosuunnitelmia ei noudateta, jäävät RCM-analyysin tulokset epävarmoiksi.

Mikäli luotua huoltosuunnitelmaa noudatetaan ja varaosatiedot pidetään ajan tasalla, laitteiden luotettavuus kasvaa ja tehtaan käytettävyys paranee ajan kuluessa.

## LÄHTEET

- [1] AEL, KnowPulp (päivitetty 2015)
- [2] August, J. RCM Guidebook - Building a Reliable Plant Maintenance Program, Knovel 2004
- [3] Goettche L.D, Maintenance of Instruments & Systems 2nd Edition, ISA - The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2005
- [4] Haimi K., Työnjohtaja, haastattelu 15.7.2016
- [6] Sokkanen J., haastattelu 20.4.2016
- [8] Heinokoski R., Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito, Juvenes Print, 2013
- [9] IAEA - Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC, 2008
- [10] Järviö J. et al., Kunnossapito 3. painos, 2006
- [11] Järviö J. et al., Kunnossapito 4. painos, 2007
- [12] Kanninen O., Kunnossapito-ohjelman rakentaminen RCM-menetelmällä, diplomityö 2013
- [13] Mikkonen, H. et al., Kuntoon perustuva kunnossapito, KP-media, 1. painos, 2009
- [14] Moubray, J., Reliability-centered maintenance, Industrial Press, 2<sup>nd</sup> edition, 1997
- [15] NASA, Reliability-centered maintenance guide for facilities and collateral equipment, 2008, saatavilla: <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/As-sets/Docs/NASARCMGuide.pdf>
- [16] PSK standardisointi, PSK 6201 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 3. painos. 30 s., 2011
- [17] Rausand M. et al., System reliability theory: models, statistical methods, and applications, 2. painos, Wiley-interscience, 2004
- [18] SAP, Vision and purpose, 2017, saatavilla: <https://www.sap.com/corporate/en/vision-purpose.html>
- [19] Suomen standardoimisliitto, SFS-EN 13306 - Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia, 2011



- [20] Suomen standardisoimisliitto, SFS 5438, Järjestelmän Luotettavuuden Analysointimenetelmät: Vika- Ja Vaikutusanalyysi (VVA), 1988
- [21] Suomen standardoimisliitto, SFS-ISO 8402 Laadunhallinta ja laadunvarmistus — sanasto
- [22] Smith A. et al., RCM – Gateway to a world class maintenance, Elsevier, 2004
- [23] ST Ohje 1.1 Säteilytoiminnan turvallisuus, Säteilyturvakeskus, saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/normit/22496-ST1-1.pdf> (31.03.2016)
- [24] ST Ohje 1.4 Säteilyn käyttöorganisaatio, Säteilyturvakeskus, saatavilla: <http://www.finlex.fi/data/normit/18676-ST1-4.pdf>
- [25] ST Ohje 5.1 Umpilähteiden ja niitä sisältävien laitteiden säteilyturvallisuus,
- [26] Säteilyturvakeskus, saatavilla: [http://www.finlex.fi/data/normit/2563-5\\_1.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/2563-5_1.pdf) (31.03.2016)
- [27] Turvatekniikan keskus, Turva-automaatio prosessiteollisuudessa – ohje, TUKES, saatavilla: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit\\_kaasu/Turva-automaatio\\_prosessiteollisuudessa.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/kemikaalit_kaasu/Turva-automaatio_prosessiteollisuudessa.pdf)
- [28] UPM, sisäinen esitys, 2016a
- [29] UPM, Kaukas sisäinen esitys, 2016b
- [30] UPM, intranet 2016c
- [31] Valtioneuvoston päätös (856/2012) 6 luku 72 §, Vaaratilanteiden havaitseminen ja hälytykset, saatavilla: <http://data.finlex.fi/eli/sd/2012/856/luku/6/pykala/72/ajantasa/20150601>